



TITLE:

自動車排気による大気汚染とその
防止に関する研究(Dissertation_全
文)

AUTHOR(S):

西田, 耕之助

CITATION:

西田, 耕之助. 自動車排気による大気汚染とその防止に関する研究. 京都
大学, 1969, 工学博士

ISSUE DATE:

1969-01-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r1360>

RIGHT:

自動車排気による大気汚染と
その防止に関する研究

昭和43年8月

西田耕之助

正 誤 表

頁	場 所	誤	正
11	上から24行目	dichlorethane	dichloroethane
	下から 9行目	phoaphorus	phosphorus
17	上から20行目	J ; 熱の仕事当量, _____	J ; 熱の仕事当量, E_i ; 印加電圧 i ; センシングエレメントの電流
	下から 7行目	れるからり大きな	れるかなり大きな
18	下から 3行目	図2-5で	図2-4で
20	上から15行目	$R_F = \frac{1}{H\mu}$	$R_F = \frac{1}{1+\mu}$
21	式2-26	$\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{K'}{(HK')^2}$	$\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{K'}{(1+K')^2}$
24	図2-29		図2-9
31	図2-11	dimethy-	dimethyl-
47	表2-11		表2-12
68	下から 4行目	Linvellら	Linvilleら
71	下から 8行目	Chase	Chass
82	下から11行目	マニホールバキウム	マニホールドバキウム
88	上から 9行目	東洋テック	東洋テック
89	上から 1行目	Joneら	Jonesら
122	表3-30	PPM	ppm
131	上から 7行目	15/10+CO ₂	15/CO+CO ₂
133	下から 8行目	Magas	Maga
137	上から13行目	form	from
142	上から 9行目	Roler	Role
146	下から18行目	汚染物の防止を	汚染物の排出防止を
147	下から10行目	ルド再循環	ドへ再循環
155	下から 2行目	CPA	CAP
162	下から 5行目	～3.3% 慮O ₂ 0.6～	～3.3% , O ₂ 0.6～
	下から 1行目	顕蓄に	顕著に
169	表4-16	炭化水素量排出量	炭化水素排出量
171	下から 4行目	トランミッション	トランスミッション
172	表4-21	と燃量にたい	と燃料量にたい
212	下から12行目	chipman	Chipman
213	下から 3行目	平均交通費と	平均交通量と
216	下から12行目	バキウムプレッシャー	バキウムプレッシャー
249	上から12行目	4ードサイクル	4モードサイクル
261	式5-36	$\frac{833 \times 10^{-5} + 2731 \times 10^{-5} \rho}{326 + 10^{-4} + \rho}$	$\frac{833 \times 10^{-5} + 2731 \times 10^{-5} \rho}{3261 \times 10^{-4} + \rho}$
266	上から 8行目	california	California
	上から23行目	Carbons	carbone
268	上から 4行目	Redister	Register
	下から 2行目	Sweevy	Sweeny
269	上から 3行目	はじめに	緒言
277	図6-9	窒素酸化物	窒素酸化物
287	図6-18	交通量g/時	交通量台/時
298	上から13行目	C ₅ ～C ₈ オ	C ₅ ～C ₈ オ
316	上から 9行目	Symosium	Symposium
320	下から16行目	-Sulfolin	-sulfolane
321	上から20行目	-sultolane	sulfolane
328	下から 2行目	衛生学教室	衛生工学教室

自動車排気による大気汚染と その防止に関する研究

昭和43年8月

西田耕之助

自動車排気による大気汚染とその防止に関する研究

目 次

第一章	序 論	1
	はじめに	1
第1節	大気汚染の意義	1
1-1	大気汚染の定義と概念	1
1-2	大気汚染の背景	2
1-3	大気汚染の一般的過程	3
1-4	大気汚染の分類	4
第2節	大気汚染と防止の概況	4
2-1	欧米の概況	4
2-2	わが国の概況	5
第3節	大気汚染の影響	6
3-1	人体への影響	6
3-2	植物への影響	7
3-3	物質にたいする影響	7
3-4	自然環境の変化	8
3-5	汚染物質の環境基準	8
第4節	本研究の意図	10
	参考文献	12
第二章	大気汚染物測定に関する実験的研究	13
	緒 言	13
第1節	大気汚染物の機器分析	13
1-1	特定成分の分析	13
1-2	全 分 析	14
1-3	大気汚染物測定におけるガスクロマトグラフィー	14
第2節	ガスクロマトグラフィーの概略	15
2-1	歴史的概説	15
2-2	クロマトグラフィーの分類	15
2-3	装置の概略	15
2-4	検出器の分類と原理	16
2-4-1	熱伝導度型検出器	16
2-4-2	イオン化検出器	17
2-5	ガスクロマトグラフィーの理論的取扱	18
2-5-1	線型クロマトグラフィー	19
2-5-2	非線型クロマトグラフィー	20
2-5-3	カラム効率 (Vandemter の式)	21
2-6	固定相担体	22

2-7	固定相吸体	23
第3節	ガスクロマトグラフィーによる大気汚染物の測定に関する従来の研究	25
3-1	標準物質の調整	25
3-2	試料の採取および保存性	25
3-3	試料の濃縮	26
3-4	検出器	28
3-5	分離カラム	29
3-6	定性および定量	30
第4節	低濃度の低級炭化水素の捕集に関する実験的研究	30
4-1	研究目的	30
4-2	研究方法	31
4-2-1	装置ならびに方法	31
4-2-2	標準物質	31
4-2-3	実験条件	32
4-3	測定成績ならびに考察	32
4-3-1	真空度による捕集効果の差異	32
4-3-2	トラップ充填剤の粒度による効果	34
4-3-3	トラップの長さによる差異	35
4-3-4	トラップの内径による差異	36
4-3-5	中空およびガラスウールトラップの効果	37
4-4	総括	39
第5節	カラム担体の性状ならびに分解能に関する実験的研究	40
5-1	研究目的	40
5-2	実験方法ならびに試料	40
5-2-1	試料担体	40
5-2-2	測定方法	41
5-3	測定成績ならびに考察	42
5-3-1	担体粒子の含水率	42
5-3-2	担体粒子のかさ比重	45
5-3-3	真比重ならびに空隙率	47
5-3-4	担体粒子の比表面積および形態係数	49
5-3-5	分解能	51
5-4	総括	54
第6節	結論	55
	参考文献	57
第三章	自動車排気中の低級炭化水素の研究	65
	緒言	65
第1節	自動車排気に関する従来の研究	66
	はじめに	66
1-1	排出量	66
1-2	自動車の排気組成	67

1-3	燃料による排気の変化	72
1-4	ジーゼル排気	75
1-5	クラスケース排出と燃料蒸発	77
1-6	エンジン条件と排気の関係	80
第2節	自動車排気の低級炭化水素と無機ガス成分に関する研究	84
2-1	研究目的	84
2-2	研究方法	84
2-2-1	実験車	85
2-2-2	実験条件	86
2-2-3	使用燃料	86
2-2-4	測定項目ならびに方法	87
2-3	測定成績ならびに考察	88
2-3-1	標準物質の特性	88
2-3-2	アイドル時の排気	89
2-3-3	定速時の排気	99
2-3-4	加速時の排気	113
2-3-5	減速時の排気	120
2-3-6	自動車の既走行距離による排気の変化	124
2-4	総括	126
第3節	シャシーダイナモテストによる排気	129
	はじめに	129
3-1	研究目的	129
3-2	実験装置ならびに方法	130
3-2-1	シャシーダイナモメーター	130
3-2-2	非分散型赤外分析計 (NDIR)	131
3-2-3	テストサイクル	131
3-2-4	実験車	131
3-3	測定成績ならびに考察	132
3-3-1	7モードサイクルテスト	132
3-3-2	4モードサイクルテスト	132
3-4	総括	134
第4節	結 論	135
	参考文献	137
第四章	排気ガス防止装置に関する実験的研究	145
	緒 言	145
第1節	排気ガス防止装置に関する従来の研究	145
1-1	自動車排気にたいする法規制	145
1-1-1	カリフォルニアの場合	145
1-1-2	全米の場合	147
1-1-3	ヨーロッパ諸国の場合	149
1-1-4	わが国の排気規制	149

1-2	排気ガス防止装置	150
第2節	点火改良装置による排気成分の排出変化	158
2-1	研究目的	158
2-2	研究方法	158
2-2-1	使用自動車	158
2-2-2	実験条件	158
2-2-3	測定項目ならびに方法	158
2-3	点火改良装置の概要	158
2-3-1	混合気の点火燃焼機構	158
2-3-2	点火改良装置の概略と放電特性	159
2-4	測定成績ならびに考察	161
2-4-1	点火改良装置によるアイドル時の効果	161
2-4-2	点火改良装置による定速時の効果	165
2-4-3	点火改良装置による加速時の効果	170
2-4-4	点火改良装置による減速時の効果	172
2-4-5	既走行距離による点火改良装置の取付け効果	175
2-4-6	シャ-シーダイナモテストによる点火改良装置の効果	177
2-5	総括	178
第3節	点火改良装置の内部構造による差異	180
3-1	研究目的	180
3-2	実験方法	184
3-3	点火改良装置の供試品	181
3-4	測定成績ならびに考察	181
3-4-1	カーボンとステンレス電極	182
3-4-2	マイカ板の厚さによる差異	182
3-4-3	スプリングコイルの太さによる影響	183
3-4-4	静電容量および火花成分による影響	185
3-4-5	走行距離数による効力の低下	184
3-4-6	金属電極の使用による効果	184
3-5	総括	187
第4節	アイドル調整方式における問題点	187
4-1	研究目的	187
4-2	実験方法	187
4-3	アイドル調整法(スロー調整)	188
4-4	測定成績ならびに考察	189
4-4-1	アイドルアジャストメントスクリーの開度と燃料消費ならびに気液率の関係	189
4-4-2	スクリーの開度と無機ガス成分	190
4-4-3	加速時におけるアイドル調整の影響	190
4-5	総括	192
第5節	二次空気注入装置の問題点	193
5-1	研究目的	193
5-2	二次空気注入装置の概略	193

5-3	測定成績ならびに考察	194
5-4	総括	196
第6節	アイドル調整、点火改良装置、二次空気注入装置の比較	196
6-1	研究目的	196
6-2	アイドルアジャストメントスクリーンの開度	196
6-3	アイドル時の排気成分の比較	196
6-4	加速性能にたいする影響の比較	197
6-5	総括	198
第7節	結論	199
	参考文献	201
第五章	都市における自動車の走行パターンに関する研究	208
	緒言	208
第1節	研究目的	208
第2節	自動車の走行サイクルに関する従来の研究	208
第3節	実験条件ならびに方法	215
3-1	実験自動車	215
3-2	測定項目ならびに方法	216
3-3	走行条件	216
第4節	走行路線の選定	217
4-1	京都市内中心部	217
4-2	京都市街の外周部	220
4-3	大阪市の中心部	221
4-4	調査期日	221
第5節	走行パターンの解析方法	221
第6節	京都市中心部における成績	223
6-1	走行モードの時間比	223
6-2	速度条件の相対頻度、相対時間比、および平均継続時間	225
6-2-1	速度条件の相対頻度	225
6-2-2	速度条件の相対時間比	226
6-2-3	速度条件の継続時間	226
6-2-4	平均走行距離	228
6-3	走行サイクルのモード数についての解析	228
6-4	合理的走行サイクルの選定	230
6-5	総括	234
第7節	京都市の外周部における成績ならびに考察	236
7-1	実験区域	236
7-2	走行モードの時間比	236
7-3	速度条件の相対頻度、相対時間比および平均継続時間	236
7-3-1	速度条件の相対頻度	237
7-3-2	速度条件の相対時間比	237
7-3-3	速度条件の平均継続時間	238

7-3-4	走行距離数	239
7-4	走行サイクルのモード数の解析	239
7-5	合理的走行サイクルの選定	240
7-6	総括	243
第8節	大阪市の中心部における測定成績ならびに考察	243
8-1	実験区域	243
8-2	走行モードの時間分布	244
8-3	速度条件の相対頻度、相対時間比および平均継続時間	244
8-3-1	速度条件の相対頻度	244
8-3-2	速度条件の時対時間比	244
8-3-3	速度条件の平均継続時間	245
8-3-4	走行距離	246
8-4	走行サイクルのモード数の解析	247
8-5	合理的走行サイクルの選定	248
8-6	総括	249
第9節	京都、大阪における走行サイクルの比較	250
9-1	目的	250
9-2	走行モードの時間分布	250
9-3	速度条件の相対頻度、相対時間比および平均継続時間	250
9-4	走行サイクルのモード数と解析結果の比較	252
9-5	合成走行サイクルの比較	252
9-6	総括	253
第10節	合成サイクルによるシャーシーダイナモテスト	253
10-1	研究目的	253
10-2	実験方法	253
10-3	測定成績ならびに考察	254
10-3-1	荷重係数（評価係数）の実測	254
10-3-2	排気濃度の算定	255
10-4	総括	256
第11節	合成サイクルによる排出量の推定	257
11-1	研究目的	257
11-2	合成サイクルによる排出量	258
11-3	都市域における排出量の推測	259
11-3-1	ロスアンゼルス の例	259
11-3-2	京都市における排出量の推定	260
11-4	総括	264
第12節	結論	264
	参考文献	266
第六章	自動車排気による大気汚染の実態に関する調査研究	269
精 言		269
第1節	自動車排気による大気汚染に関する従来の研究	269

1-1	米国の概略	269
1-2	わが国の実状	276
第2節	都市大気中の低級炭化水素の実態に関する調査研究	278
2-1	研究目的	278
2-2	測定方法ならびに場所	279
2-2-1	測定方法	279
2-2-2	測定場所および日時	279
2-3	測定成績ならびに考察	281
2-3-1	曾根崎警察署前	281
2-3-2	大阪府下の交差点における測定	282
2-4	総括	288
第3節	高速道路トンネルとその付近における大気汚染の調査・研究	289
3-1	研究目的	289
3-2	測定場所ならびに方法	290
3-2-1	天王山トンネルの概要	290
3-2-2	測定地点および日時	291
3-2-3	測定項目ならびに方法	291
3-3	測定成績ならびに考察	292
3-3-1	気象条件	292
3-3-2	交通状態	295
3-3-3	亜硫酸ガスおよび浮遊ばいじん	296
3-3-4	炭化水素およびCO・CO ₂	296
3-4	強制換気によるトンネル内濃度の推定	306
3-5	総括	304
第4節	わが国の自動車排気による大気汚染の将来	304
4-1	自動車交通の現状と将来	305
4-2	自動車排気による大気汚染の将来	307
第5節	結 論	308
	参考文献	310
第七章	結 論	320
	謝 辞	328

第 一 章 序 論

は じ め に

大気汚染がはじめて注目されたのは13世紀のイギリスで、1952年にスモッグ事件が発生し、空気清浄法（clean Air Act, 1956）の制定をみた。¹⁾

アメリカの工業都市でも1910年ごろからばい煙による被害がみられた。オ二次大戦後の石油系燃料への転換から、眼の刺激を特徴とするロスアンゼルス型スモッグが現われ、汚染源として自動車排気も注目され、環境基準の設定および排気ガス規制へと発展した。²⁾

わが国でも、ばい煙による苦情が明治末期から工業都市でみられたが、大気汚染が世論を喚起するに至ったのは戦後のばい煙、粉じんによる被害の増大からで、その後の石油系燃料需要の急増、自動車交通の激増などから都市の大気汚染が軽視できない状態となった。このため、ばい煙の排出の規制等に関する法律（昭和37年）や、排気ガス規制（昭和41年）も実施され、いよいよ、わが国の大気汚染は本格的な対策時代に入ることになった。³⁾

本論文では、わが国の都市大気汚染問題のなかで、深刻度を増している自動車排気による汚染の防止について、衛生工学的基礎研究として推進した成果を述べる。

本章では、わが国および諸外国における大気汚染について概察し、大気汚染の概念、影響を略述し、最後に本論文で展開する研究の意図を明らかにする。

第 1 節 大気汚染の意義

1-1 大気汚染の定義と概念 ^{4)~7)}

大気汚染の定義には種々の概念が示されている。アメリカ合衆国公衆衛生局は「人為的、自然的に発生した物質が個人の快楽、安全、健康を損じたり、その財産の満足しうる使用を妨害するのに十分な濃度で存在すること」と述べ、具体的にはばい煙、じんあい、自動車排気ガス、各種工場からの悪臭ならびにガス排出などによる空気のごとで、放射線による汚染や気象現象に結びついたスモッグ、もやなどもこの部類に入るとした。また、W・H・O.（1961年）では典型的な法律的定義として「戸外の大気中に人工的にもたらされた汚染物質が存在し、その量、濃度、持続時間が一地区の住民のかなり多数の人々に不快感を引きおこしたり、広い地域にわたって公衆衛生上の危害をおよぼしたり、人間、植物、動物の生活に害を及ぼすことによって生活や財産を享受する正当な権利を妨害するような状態である」と示した。

カリフォルニアでは、1960年に大気の質と自動車排気にたいする基準（Air Quality and Motor Vehicle Exhaust Standards）を定めた。それには大気汚染の強さおよび成分が健康、刺激を含む感覚、疾病、死亡、植物の被害、視程の妨害等との関係を示すものとされた。さらに、汚染物の影響は種類と強さの両者に依存し一様でないから、影響の激しさで対策の緊急性をつぎのように規定した。

1. 有害レベル（Adverse level）；大気汚染の第一の影響は不快感である。病気を起すまでには至らないが、感受性のある住民や労働者の生活安定を乱すもので、このレベルでは眼の刺激が起る程度の汚染物や混合物の量を示す。この範囲では人以外のものに強い影響を及ぼし、植物損傷、視程の減少、経済的、社会的に問題になる程度の器物、財産の損害を示す。

2. 危険レベル（Serious level）；感受性のある人々に潜在的、または慢性的の疾病、あるいは生理学的機能に変化を及ぼすような汚染物やそれらの混合物の量をいう。生体機能の障害は感受性の強い人には健康の危険を意味するが、必ずしも健康状態を保たないというのではない。

3. 緊急レベル（Emergency level）；、急性の疾病や死亡に至らせるような汚染物や混合物の量、ならびにそのような事態を起す気象学的要素の量を伴う。

これらのほかにも多くの定義ないしは概念が提されているが、最近の一般的用法⁵⁾で、大気汚染とは地域的大気中の物

質のことで、人の行為によるもので、微生物や放射性物質を含まないとされ、健康への影響とは客観的方法で測定される生理学的、病~~理~~学的変化をもたらすことと定義づけられている。

このような概念はアメリカ、イギリスなどの資本主義国におけるもので、社会主義体制にあるソ連での定義は異なつた概念に基づく。すなわち、ソ連衛生学の特徴は外部環境への適応、毒物にたいする抵抗性、機能の回復能力などについて生物の脳皮質が重要な役目をしているという認識に立っており、ソ連では微弱な作用因子の生体に及ぼす影響を重視し、その中には条件反射を生成して有害性を示すような未分化の因子も含まれている。ソ連衛生学は許容度の決定には高次の神経活動にたいする影響と感受性の変化を重視している。さらに資本主義国では衛生学者の提案が実行されない場合が多く、提案を実行に移しているソ連とは大きな相違があるといわれる。⁶⁾ 橋本⁵⁾は被害の発生形態から、不特定多数の汚染源群から広い地域の不特定多数の市民に害を及ぼしているものを厳密に公害 (Public Nuisance) とし、特定の汚染源から局地的に近隣等の特定範囲の公衆へ害を及ぼすものを私害 (Private Nuisance) と区別すべきであると述べた。公害と私害の関係は天野⁸⁾が法理論的に解説し、庄司⁹⁾もこれについて述べている。昭和42年に公布されたわが国の公害基本法では「公害」とは「事業活動その他の人の活動に伴って生ずる相当範囲にわたる大気汚染、水質汚濁、騒音、振動、地盤の沈下（鉱物の掘採のための土地の掘さくによるものを除く）および悪臭によって人の健康、または生活環境に係る被害が生じることという」と規定され、「生活環境」については「人の生活に密接な関係のある財産、並びに人の生活に密接な関係のある動植物及びその生育環境を含むものとする」と規定されている。

1-2 大気汚染の背景³⁾⁵⁾¹⁰⁾

大気汚染に対する態度が国情により相違することは当然であるが、その相違点を明らかにすることは、わが国の公害問題を論じる上で重要である。公害の背景には、その国の地勢、気象等の自然的要因、国民性のほかに住宅、交通、産業など都市形成の歴史的経過、都市計画と産業立地における基本的思想、規制にたいする法的思想、規制経過、エネルギー事情、政策などきわめて広範囲にわたる問題が包含されている。

大気汚染については、その背景のなかで地勢および気象的条件が大きな影響をもつ。すなわち、生活や生産活動により汚染物が大気中に放出される。これが公害に発展するには地勢や気象条件などの自然的要因が大きな役割を演じており、それらは個々の地点で大きく相違する。それゆえ、自然的要因を加味した公害規制が必要となる。たとえば、ロスアンゼルスではかなり強い規制が実施されているが、いまだにスモッグが発生しており、地勢と気象条件の影響がいかに大きいを示す。

欧米各国とも国民思想のなかには他に害を及ぼす行為を相互にいましめる素地がみられ、これが各国民の科学的合理性と相まって公害問題の対策を実現させている要因ともみられる。たとえば、シカゴ、ビッツバーグおよびカリフォルニアなどでは公害防止に政府、一般、産業の協調がよく見られ公害の加害者が防止対策を積極的に実行しており、国民性が防止効果の拡大に大きく影響することを示す。

一方、わが国³⁾では国土が狭少で、その $\frac{1}{4}$ に過ぎない平地に人口の7割が集中しており、平地の多くは海岸部にあって背後に山地が迫り、局地的気象条件とともに大気汚染の面から不利である。産業の大部分が主工業地とそれらの周辺に人口とともに集中している。そのうえ、工場配置や都市計画の不備からこれらの地域の大気汚染は重大となっている。世界的なエネルギー革命から石油系燃料の需要の伸びが著しく、わが国では主に硫黄含量の大きい中近東の原油が使用され、その燃焼排気による大気汚染は、汚染の質をばい煙からSO₂へと変化させた。才二次大戦前でもわが国の公害例（煙害）がみられるが、当時は一般住民の権利意識が弱く、大きく世論を喚起することが少なかった。戦後、国民の生活環境に対する欲求や権利意識は向上したが、いまだに被害者の組織化など公害排除にたいする認識が乏しい。大気汚染をはじめとする公害の諸問題は現象が複雑で利害関係がからみあうことから、基礎的な調査や研究が大きく立ち遅れており、わが国の防止技術の研究開発は最近その端緒についたとしても過言でない。そのうえ、わが国の工業の後進性から、従来の政策の基本は産業育成のみに重点が置かれている。すなわち、産業優先策の推進から被害者の基本的人権、ならびに自然の破壊にたいする行政的配慮は著しく欠如しており、加害者の加害意識が全くない場合がきわめて多く、報道機関の営利主義がこの傾向を助長する場合すら少なくない。このような背景をもつわが国の大気汚染を含む公害問題は次才に深刻化しており、その解決への道は現況ではきわめて遠い。

1-3 大気汚染の一般的過程⁵⁾¹⁾¹²⁾

大気汚染物には火山灰など自然界によるものも少なくないが、通常は人工的にもたらされた汚染物を対象とする。汚染物は大きく分けて燃焼過程、化学反応過程、物理的過程から産出される。燃焼過程にはボイラーなど燃料の燃焼、内燃機での燃焼、電気炉での高温による熔解などが含まれる。また、ごみ焼却などの生産施設以外からの発生も少なくない。化学過程は化学反応過程で中間生成物、終末生成物としての排出、漏出、蒸発などである。物理的過程は砕石、混合、運搬、つめ替えなどで発生する細じんがあげられる。汚染物の産出は使用される燃料や原料に大きく影響される。すなわち石炭の揮発成分や灰分の含有量、石油の硫黄含量が種類によってかなり異なり、 SO_2 の発生が異なる。また、汚染物の発生には生産施設自体が大きな影響をもっている。電気炉や転炉はこの典型で、汚染物の制御と施設自体の技術改善も大気汚染の防止上重要である。

さらに汚染物の排出形態にも違いがある。すなわち、燃焼施設からの多くは煙突から排出され、電気炉、平炉などは建屋から排出される。化学工程で反応生成物が反応塔やパイプの連結部から漏れる場合も多く、揮発性物質の貯蔵での蒸発も少なくない。工場廃液などにより汚濁の激しい河川では、汚染物が水中で反応（嫌気分解）して水面から悪臭を発生するのも特異な排出形態の一つである。

排出された汚染物は大気の複雑な動きで拡散希釈され、それには煙突からの排出速度と外風速が大きな影響を与える。汚染物は風下に運ばれる間に大気の乱流現象により拡散希釈され、比重の大きいものは排出源の近くに降下し、ガス体や比重の小さいものは遠くまで運ばれる。この場合には排出口のジェット効果が拡散範囲に影響をもつ。一般²⁾には平均風速の2～3倍の排出速度がないと好ましくなく、降下ばいじん濃度が最大を示す地点は煙突の高さの1.0～1.5倍で、ガス体では2.5～3.5倍の距離である。このような拡散の程度は排出源の分布と相まって、大気汚染の局所性および広域性を規定する。大気中で酸化や光化学反応による変質を起すものも多く、製鉄所の酸化鉄などのミクロン程度の微粒子は1.5～2.0 km以上にも拡がることもある。¹⁰⁾ 通常大気は地表から100 mごとに約0.6°Cづつ温度が低下しているが、特殊な気象条件では大気温度の鉛直分布に逆転を生じる。東京での逆転層の高さは300～400 mといわれ、¹¹⁾ このときには、地表面の空気温度が水滴の露点以下になることが多く霧が発生し、霧と煙や汚染物の停滞、蓄積からスモッグが形成され、視程が2 km以下となる。近年、東京、大阪などの都心部や工業地帯では、このようなスモッグの発生頻度が晩秋から冬にかけて増加しており、その継続時間も増長している。ロスアンゼルススのスモッグ時の視程は0.8～1.6 km、ロンドンでは100 m以下といわれる。¹¹⁾ スモッグの発生時には汚染物濃度が高まり、その継続時間が長引くと様々の障害をひきおこす。ロンドン（5日間）のスモッグによる死亡事件（1952年12月）、米国のドノラ（1948年10月）、ベルギーのミューズ谷（1930年12月）の事件などがその代表例である。大気汚染には気象的要因である風向、風速、乱流、逆転層が重要な役割を演じるが、地理的要素もスモッグの成立に大きく影響を及ぼす。すなわち、ドノラ、ミューズ谷は丘陵ではさまれた谷間で、ロンドンはテームズ河沿いの低地、ロスアンゼルスは一方が湾で他の三方が山で囲まれた海岸の平地である。わが国でもこのような地形の都市は非常に多く、大阪は北摂、六甲、生駒の山脈に囲まれ、大阪湾に面した平地で、京都は三方を山で囲まれた盆地である。このため気象条件の悪い場合に激しいスモッグの発生が起ることも当然予想され、工場立地上に十分な考慮を要する。また、大都市の高層ビルによる都市の特殊な地形、気象条件についても大気汚染上注目すべき点が多く、交通激化から自動車排気の蓄積による被害も軽視できない。

大気汚染物は産生、排出、拡散されて地上の人間、動物、植物、器物に被害を与える。比較的長期間の曝露による被害はばい煙による洗濯物の汚れ、悪臭などの生活妨害、ゴム製品、機械器具、塗装の腐蝕や文化財の汚損などの器物の損害、煙害による農林業の被害、家畜の傷害など他産業への影響、視程の減少による飛行機の発着妨害や、自動車の交通まひなど非常に広範囲に、しかも様々の形であらわれる。また、大気汚染による急性の健康障害としては粘膜の刺激による流涙、咳、悪心など、アレルギー性の喘息様の疾患、呼吸器系の疾患の急増、ならびに二次的に循環器系統に負荷の高まることによる循環器系疾患の発生が証明されている。¹²⁾ 有害ガスによる急性障害の極端な例は工場周辺でのガスもれ事件で、その障害も急性中毒から死亡事故と枚挙にいとまがない。大気汚染の長期間曝露による慢性的健康障害としては、紫外線が $\frac{1}{16} \sim \frac{1}{30}$ 程度に減少するために乳幼児の発育障害、汚染地区の乳幼児、老人の呼吸器系疾患による死亡率の増加、子どもの肺の気管支の狭小などが挙げられる。¹⁰⁾ さらに、胸部疾患による死亡率の都市化に伴う上昇についても指摘されており、¹⁰⁾ 燃焼排気のベンツピレンによる慢性的影響も無視できない。¹²⁾ このほか、ベリリウムやセレン、鉛、砒素などを扱う工

汚染周辺の慢性障害例も多く、これらは慢性的健康障害の典型である。¹²⁾

1-4 大気汚染の分類¹³⁾

従来から大気汚染は三つの主要なタイプに分類される。オ一のタイプはロンドン型と呼ばれ、原因は主として石炭燃焼による煙、灰、 SO_2 と、その酸化物のエアロゾルなどである。イギリスのロンドン、マンチエスター、シエフィールド、数年前のアメリカのピッツバーグ、セントルイス、ナッシュビル、わが国の札幌、宇部などがその代表例である。煙は主に産業排気によるが、家庭、鉄道なども重要な汚染源である。このタイプの大気汚染による健康障害は慢性気管支炎、心肺疾患、炭肺などが挙げられている。

オ二のタイプはロスアンゼルス型と呼ばれ、石油系燃料の排ガスに由来する。数十種類の炭化水素がその主因で、戦後のロスアンゼルスで激しく発生した。すなわち、大気中の炭化水素と窒素酸化物の光化学反応により生成するオゾンが NO_2 などの酸化を促し、大気中のオキシダントを増加させて、住民の眼や呼吸器の刺激、植物損傷などをひきおこす。このような大気の汚染現象はニューヨークの快晴、無風状態にもしばしば発生がみられ、わが国でも最近の東京や大阪などで発生しつつある。オゾンを含むオキシダントは人体のみでなくゴム製品に亀裂を生ぜしめ、タイヤの寿命を短くするなどの影響が顕著である。このタイプの汚染では、日中はオキシダント濃度が高く、夜間は逆に NO_2 濃度が高く、きわめて特徴的である。¹²⁾

オ三のタイプは前述の原因のほかに工業地区からの化学的物質による汚染で、ミューズ、ドノラ、ならびにヨコハマ喘息で有名な川崎横浜工業地帯、尼崎などがこの部類に入るといわれる。¹²⁾ また、東京や大阪などは上記のタイプが入り混じった汚染型であると説くものもある。¹⁴⁾ ロンドン型およびロスアンゼルス型の大気汚染の特徴を比較すると表1-1のよう

表1-1 スモッグの二つの型の比較¹³⁾

第2節 大気汚染と防止の概況

2-1 欧米の概況¹⁵⁾

世界の大気汚染は時代の推移とともに形態が大きく変化している。工業地帯の降下ばいじんから石油系燃料による SO_2 の障害、さらには、自動車排気へと拡大激化している。その上、人類の生活環境にたいする要求も次々に向上し、大気の汚染問題はいまや近代国家に共通する重要な社会問題として、その解決のために国際規模の会議も開かれた。大気汚染でもっとも古い歴史をもつイギリスは、石炭のばい煙に600年間も悩まされ、近年対策の重点は SO_2 に変わった。ばい煙の法的規制ではもっとも進歩した立場を示していたが、自動車の

項目 \ タイプ	ロスアンゼルス・スモッグ	ロンドン・スモッグ
発生時の気温	75~90°F	30~40°F
湿度	70%以下	85%以上(+霧)
逆転の種類	沈降性逆転	放射性逆転
風速	5マイル/時以下	無風
スモッグ最盛時の視程	1.6km~0.8km以下	100m以下
最も発生しやすい月	8月・9月	12月・1月
使用されている主な燃料	石油系燃料	石炭及び石油系燃料
主な成分	オゾン・有機物・酸 炭化素・窒素酸化物	イオウ酸化物・粒状 物質・一酸化炭素
反応の型	光化学的+熱的	熱的
化学的反応	酸化	還元
最も発生しやすい時刻	日中	早朝
人体に対する最な影響	短時間に眼の刺激	気管支の刺激 セキが出て時には呼吸器系の疾患を持つ人々の死亡率を増加させる。

排気対策ではアメリカに、環境基準の制定ではソ連、西ドイツ、アメリカや日本に遅れようとしている。¹⁵⁾

ソ連の環境基準はもっとも注目されるところで、50項目以上の有害成分について許容基準を定め、業種別に工場の立地条件をも明示しており、公衆衛生的見地からもっとも進歩した規定である。西ドイツは環境基準の制定、自動車排気対策が検討されている。ドイツ技術者協会(V.D.I.)¹⁷⁾ が亜硫酸ガス、二硫化炭素、硫化水素、酸化窒素、塩素ガスの最大許容濃度(MIK)を定め、連邦政府に実施の勧告を行なった。アメリカはもっとも大気汚染対策の進歩している国で、ばいじん問題は多くが解決され、現在、 SO_2 と自動車排気の対策が強力に展開されている。なかでも、ロスアンゼルス

学スモッグ対策は世界の注視を浴びている。近年、各国の大都市では自動車交通の激増から排気ガスによる大気汚染が大きな関心を呼んでいる。排気ガスの規制がもっともきびしいのはアメリカで、1968年以降から新車の排気ガス規制が全米にわたって実施された。欧米諸国の大気汚染の実状は多くの解説¹⁶⁾があるが、各国の大気汚染の特徴を略述するとつぎのとおりである。

アメリカでの大気汚染は国土が広大なことから地域差が大きく、各都市の汚染状況もかなり異なる。ニューヨークでは自動車、発電所、工場などの燃焼設備が汚染の半ばを占め、隣接工業地帯の影響もかなり大きく、汚染度が増大傾向を示している。ニューヨーク市には市条例による規制がなされ、一層強化されようとしている。ピッツバーグ市を含むアルゲニー地区の主な原因は鉄鋼業によるばいじん、その抑制の努力がなされている。ロスアンゼルスでは汚染の主原因が自動車排気であり、直射日光、弱風、逆転層形成の気象条件が大きく影響している。このため、規制も一段と強化され、スモッグの発生頻度は減少しつつある。

イギリスではロンドンのスモッグ事件から規制強化によって成果をあげている。ロンドンでの主原因は家庭、ビルなどの建物の暖房で規制の目標もこれに向けられている。一般の産業には1963年施行のアルカリ等工場規制法（Alkaline Works Regulation Act）の適用により大気に改善されている。

フランスではパリ市が防止対策を実施しているが、汚染源の大半が家庭、ビルなどの建物の暖房によるばいじん、ならびに自動車排気で占められ、規制の方向もこれらの小規模燃焼装置にむけられている。

西ドイツはエッセン工業地区がもっとも汚染度の高い地域で、製鉄関係からのばいじんが主体である。この地区では数ヶ年計画によるばいじん排出の抑制策が実施されている。

2-2 わが国の概況¹⁶⁾17)

わが国の大気汚染の実状については多くの解説¹⁷⁾があるが、ここでは大気汚染防止の経過について略述する。

わが国で、はじめて大気の汚染が問題とされたのは、明治の中期の大阪である。当時の大阪には欧米式の工場が集まり、ばい煙、悪臭、騒音などの問題が市民の苦情として現われた。以来、大阪では石炭の燃焼によるばい煙防止についての努力をしているが、防止対策の効果をあげるに至らなかった。しかも、才二次大戦後の工業の急速な発展からばい煙による被害も深刻化し、昭和25年に大阪府事業場公害防止条例が施行されて大気汚染対策が推進された。しかし、大気の汚染度は年々広域化、重大化して世論の高まりとともに強力な防止体制の必要が叫ばれ、昭和37年に大阪市公害対策審議会が設置された。この審議会は昭和40年に環境基準に関する答申を行ない、わが国における環境基準設定の端緒をなした。一方、首都の東京では、昭和2年以来大気汚染調査が間歇的に行なわれ、戦後の大気汚染の激化から昭和24年に東京都工場公害防止条例が、昭和30年には東京都ばい煙防止条例が制定された。また、昭和25年からの朝鮮戦争はわが国の産業を大きく刺激し、三大工業地帯以外の地域、たとえば名古屋、宇部、小野田なども大気の激しい汚染都市となった。宇部市では防止対策の強力な推進と燃料の切り替えてばいじんによる汚染が急速に減少し、SO₂汚染が問題とされている。さらに、四日市の例にみられるように、巨大な石油コンビナートによる大気汚染、火力発電所の排煙問題など各地で障害が発生している。また、京浜工業地帯を含む神奈川県の大気汚染はきわめて激しく、昭和27年に神奈川県公害防止条例が制定されたが、その効果が現れる前に石油コンビナートの建設などにより、この地域の大気汚染は一層激しさを加えた。これらの都市のほかには、名古屋市（昭和32年）、神戸市（昭和33年）、福岡県（昭和30年）などで防止機関が設置されて大気汚染防止の努力が払われているが顕著な成果がえられるには至っていない。

このような、各都市における大気汚染の実態調査と防止体制の整備から、政府機関でも検討がなされ、昭和37年にはばい煙の排出の規制等に関する法律が施行され、わが国の大気汚染の防止行政は一段と前進した。この法律では指定地域を定め、その地域内のばい煙発生施設について、すす、粉じん、SO₂、SO₃の排出を制限するとともに、特定有害物の排出を規制した。かくして、わが国のばい煙ならびにSO₂による大気汚染はこれまでにくらべて画期的な規制により表面的には解決されつつあるが、実際に各都市の大気の汚染度は深刻化している。このことは規制の違反者に対する罰則が明確でないことならびにすでに述べた背景などから、わが国の大気汚染の解決はきわめて至難である。そのうえ、近年の都市における自動車交通の激増は、これまでのロンドン型の汚染が解決されないままに、ロスアンゼルス型の汚染をも発生さ

せる傾向にある。昭和42年からは排気ガス規制も実施され、公害基本法の制定をみるに至り、わが国の大気汚染はいよいよ防止時代に入ることになり、その成果が早急に効を表わすことが期待される。

第3節 大気汚染の影響¹⁸⁾

大気汚染によって生じる被害や影響は人体への影響、植物への影響、物質への影響、自然環境の変化（日射量の減少、視程の悪化など）に大別される。大気汚染物の個々による障害についてはすでに多くの解説¹⁹⁾があり、ここでは一般的な事象について述べる。

3-1 人体への影響^{19)・20)・21)}

大気汚染物による人体への被害はきわめて広範囲にわたるが、大きく分けると眼、鼻、気道への刺激、呼吸器系への障害、悪臭に分類され、これらが他の疾病の発生や病状促進の原因となることも多い。また、被害の性質から比較的短時間に大量の汚染質が大気中に停滞して死亡災害となる場合と、低濃度で長期間の曝露により慢性的障害を示す場合に分けられる。大気汚染の人体に及ぼす影響の概念は表1-2のように示されている。

表1-2 大気汚染と健康に及ぼす影響の概念¹⁷⁾

大気汚染の発生源		汚染物質		条 件	急性影響 (高濃度短期ばくろ) (低濃度一過性反応)	慢性影響 (長期反復ばくろ)
施設	燃料	性 状	物 質			
工場	石炭系	ガス	SO ₂	汚染物質	視程の減少-交通事故	生体発育障害
家庭	石油系	ミスト	H ₂ S	の混合	精神的影響	慢性呼吸器疾患
自動車	その他	フューム	CO	組み合わせ	生活上の不快感	慢性気管支炎
汽車		蒸気(エ	NO _x	性状の变化	精神障害	ぜんそく様疾患
公共施設		ーロゾ	SO ₃		不快臭	肺気腫
研究所		ル)	H ₂ SO ₄	閾的濃度	疲 労	肺せんい症
ビルデ		ダスト	オゾン	気象条件	生理学的影響	炭 肺
ング		煙(臭気)	C _n H _m	地形	粘膜刺激・反応・(眼、	じん肺
諸燃焼施			CS ₂	体内侵入	呼吸器)	肺性心
設			HCl	体外環境	気道障害	その他一般健康状態の
道路			アクロレイン	の悪化	呼吸循環系障害	低下と退行性疾患の促進
船舶			オレフィン	相加作用	中毒学的影響(潜在・顕在	肺がんなどの悪性腫瘍
鉱山			フッ化物	相乗作用	性)	一般職業性疾患・老人性
			鉛化合物	き〇抗作用	血液変化	疾患との相関作用
			フライアッシュ	用	代謝障害	
			スス	感受性	組織化学・酵素化学変化	
			煙	個人差	アレルギー性変化	
			重金属化合物	職業	ぜんそく様障害	
			NH ₃		他の疾病の悪化	
			発がん性炭化水素		慢性疾患の急性化	
			イオウ化合物		多発性災害性障害	
			放射性エーロゾル		二次感染	
自然現象			花粉 など		全 年 令 層	

一般に、汚染成分の個々のものはある量以上になればそれぞれ固有の影響を示すが、大気汚染物の濃度は非常に低い場合が多い。しかし、汚染物質が混在する場合には相加ないしは相乗の効果が強くあらわれる傾向があり、このような観点からの対策の必要性も指摘されている。有害ガスと微粒子(粉じん、ミスト)などが慢性的に影響して疾病を発生する機作についてはつぎのように述べられている。まず気管支粘膜に反覆作用し。反射性気管支収縮をおこす。また粘膜に直接作用して

粘液分泌の増加、粘膜の腫張を起し、気道の気流抵抗の増加となる。この作用ははじめ可逆性で漸次不可逆性となり、不均等なガス分布が起る。このようになると繊毛の運動の減少や肺組織の浮腫が起り細菌感染の機会を生じて、ぜん息よう発作が現われる。さらに症状が進めば肺胞の充血、変性および繊維化が進み肺胞換気能が減少する。症状としては慢性気管支炎、肺気腫、閉そく性呼吸器疾患に発展し、ついで肺性心を起こして死に至ることがある。いわゆる、四日市ぜんそくがこのような例であり、その発生原因は SO_2 、 SO_3 、粉じんの相乗作用で、その機序は図1-1のように示されている。¹⁸⁾

3-2 植物への影響^{19~21)}

燃焼排気のなかに含まれる炭化水素、 CO 、 SO_2 はほとんどの植物に有害性であるとされており、とくに SO_2 にたいして植物はほとんど抵抗性がなく適応性もない。すなわち、きわめて微量の SO_2 でも植物の生活機能障害を起させる。 SO_2 は葉の気孔から侵入するだけでなく、葉全体の表皮の膜を透して浸透し枝や幹でも同様な被害を受ける。このような被害を受けたものは生活作用が弱くなって十分に成長せず、年輪などはほとんど区別できない。被害が激しくなると枯死に至る。一般に、ばいじんの害を受けた樹木は針葉樹ではその葉先が赤褐色に変わるか、または赤色の球紋ができて萎縮して落葉する。この多くは SO_2 の中毒を受けたもので葉の生活組織が SO_2 のために死滅して赤色物質ができ、 SO_2 の被害はおもに生理作用に関係する。このほか HF 、 Cl_2 、 NO 、 NO_2 、エチレン、オゾン、自動車排気なども有害で、多くの実験例¹²⁾が報じられており、カルフォルニアでのスモッグに敏感な植物と抵抗性のある植物を表1-3²¹⁾のように示されている。

図1-1 四日市ぜんそくの原因と機序¹⁸⁾

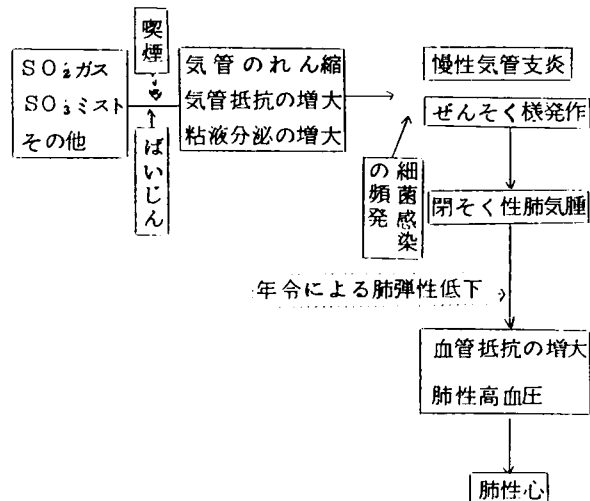


表1-3 南カリホルニアスモッグに敏感な植物と抵抗性のある植物²¹⁾

3-3 物質にたいする影響²²⁾

大気汚染物質の物質にたいする被害は、物質が汚染物の化学作用によって変質したり、腐蝕したりする影響、表面が汚れたりする被害が挙げられる。前者の主なものとは酸化物による金属の腐蝕で、その原因には SO_2 と大気中の水分から形成される硫酸ミストが挙げられる。このような被害はニューヨークでは年間600万ドルにもものぼるといわれる。 HF や HCl も同様の被害を呈する。また、オゾン（オキシダント）によるゴム物質の分解も重要な影響として挙げられ、自動車のタイヤやその他のゴム物質の劣化が激しく、塗装された表面にたいする大気汚染物の影響も軽視できない。

大気汚染物による汚れは洗浄によって元の状態となる場合が多いが、これに要する労力からみれば大きな

被害であり、汚れの程度は汚染物質の濃度、色合などが関係するが、その経済的損失にたいする算定もされている。²²⁾

一般に、物質の被害は気象条件に大きく影響され、金属の腐蝕は湿気が存在が重要で、ゴムの老化や染料の退色は日光に関係がある。大気汚染物の物質にたいする被害はまとめて表1-4¹⁷⁾のように示されている。

種類	敏感なもの	抵抗性あるもの
果 樹	アンズ、ブドウ、クルミ	アーモンド、リンゴ、サクラ、ナツメヤシ、ブドウ*、レモン、オリーブ、ミカン、モモ、スモモ
畑 作 物	ムラサキウマゴヤシ、カラスムギ サトウダイコン マメ*、インゲンマメ*、レタス	クローバ、オオムギ、カラシ、コムギ、クロマメ、カラスノエンドウ マメ*、インゲンマメ*、キャベツ
野 菜	ホウレンソウ、タマネギ、スイス フダンソウ*、パセリなど	トウモロコシ、ハツカダイコン、エンドウ、トマト、スイスフダンソウ* カリフラワー、マクワウリ等
観賞植物	ベテユニア、キク*、キンギョソウ、ヒエンソウ、カツコウアザミ カーネーション、パンジー*、コシヨウ、バラ、ヒヤクニチソウなど	アカンア、キク*、サイトビヤ、パンジー*、ダリア、スミレ、ツタカシ、シユロなど

*印は種類によってちがう。

表1-4 汚染質別の物質に対する影響¹⁷⁾

汚染質 被害物質	SO ₂ , SO ₃	H ₂ S	O ₃ オキシダント類	粒 状 物 質
金 属	鉄は腐蝕される アルミは通常の汚染濃度程度ではあまりやられない。 鋼にはロクショウの生成 ニッケルの表面がくもる	銀、銅が特にやられ硫化物で表面がおおわれる		酸性汚染ガスが存在するときの腐蝕に重要な役割を果たす。 またこれ自身腐食性物質を吸蔵している
皮 革	皮革に強い親和性があるため強度低下に影響が大きい。皮表紙の本の貯蔵性に影響が大きい 皮製安全ベルトは2, 3年で危険な程度に脆化			
紙	非常に脆くなる。			
織 維	強度低下 (特に綿製品)		染料の退色, 繊維の強度低下	汚 損
塗 料		鉛含有顔料の変色		汚 損
ゴ ム 類			脆化, 弾性の低下, ひび	
建 材	CaCO ₃ 系の建材がおかされる。			汚 損
そ の 他				送電線碍子の漏電 (特に海塩粒子)

3-4 自然環境の変化¹⁷⁾¹⁰⁾

工業都市の大気中には多量の汚染物質が浮遊して、その影響によって自然環境は次第に変化する。すなわち、大気の汚染が激しくなって視程の悪い日が急激に増加しており、汚染の激しい日には太陽放射がさえぎられ、夜間の放射冷却が少なくなって大都市の平均温度が上昇するという温室効果も指摘されている。また、霧の発生が多くなるなど自然環境の変化は無視できない。わが国でも東京や大阪における煙霧日数の推移による様々の被害や、視程の低下による航空機の運航障害、交通停滞などが報じられている。

3-5 汚染物質の環境基準¹⁷⁾²³⁾

労働衛生上の作業環境における有害物の許容限界濃度 (量) は1日8時間の曝露をしても健康上障害をきたさない最大平均濃度として定められている。大気汚染の場合には対象範囲が広く、老幼、虚弱者をも含めた24時間の生活環境における影響を考慮する必要がある。植物などにたいする障害も勘考する必要がある。また、この場合には汚染源における排出基準と環境における許容濃度とに分けられ、「ばい煙の排出の規制等に関する法律」では排出基準が一定の地域に適用されている。しかし、環境基準については議論も多く、わが国では法的基準の制定には至っていないが、日本公衆衛生協会は1956年に環境基準について表1-5¹⁷⁾のように答申した。

アメリカで大気汚染物の許容値を定めているのはカリフォルニア州だけである。ロスアンゼルスでは大気中の汚染物濃度が一定の値に達すると警報が発令されるように規定されている。カリフォルニアで定められている許容値は表1-6¹²⁾に示す。人間の健康、植物保護および視程の減少を防ぐことを目標として有害、危険、緊急の3段階に区分され、それぞれの概念については本章1-1で述べたとおりである。ロスアンゼルスでは特定の汚染物の濃度と継続時間から警報基準が表1-7²³⁾のように定められており、オゾン、窒素酸化物、硫黄酸化物、一酸化炭素が基準とされている。これらの成分のうちいずれか一成分の濃度が基準値を越えた場合に警報が発令され、それぞれの警報の段階に応じて汚染物質の排出が禁止され

る。たとえば、オ一警報では家庭のじんあい焼却の禁止、主な工場には作業中止ができるような準備をさせる。不急な自動車の運転を中止するように奨める。オ二警報ではオ一警報で準備させた工場の作業中止、自動車運転は緊急であるものだけに制限、オ三警報では病院など緊急やむをえないところだけ燃料の燃焼を許可する。このロスアンゼルスにおける警報基準は強力な排出規制を強制できる基準で、許容濃度とはやや趣を異にする。

表1-5 ばい煙ならびに各種化学物質による空気汚染の許容限度について¹⁷⁾
(日本公衆衛生協会、公害問題諮問の答申、1956)

	許 容 限 度
1. ばい煙	発生源において、任意の1時間について総計6分以上黒煙を放出してはならない
2. SO ₂	生活環境におけるSO ₂ については0.1PPmをこえてはならない
3. アルデヒド	0.1PPmをこえてはならない
4. その他の化学物質	その他の化学物質による空気汚染については労働衛生の領域において慣行されている有害物限度の $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{100}$ 程度を生活環境における限度と一応考えて将来の研究結果にまつものである。したがってこれらについては必要に応じ、それぞれの事例ごとに権威ある調査機関などを通じて決定することが望ましい

表1-6 カリフォルニア州大気汚染対策用基準濃度¹²⁾

汚 染 物 質	有 害 濃 度 人の感覚、とくに刺激症状を起させ、植物を枯らし、視程を減少するなどの影響を与える濃度	危 険 濃 度 身体的作用になんらかの変化を与えたりまたは慢性疾患の原因となりうる濃度	緊 急 濃 度 急性障害をおこさせたり、または特に感受性のある人たちを死亡させるような濃度
オキシダント オゾン 亜硝酸ガス 炭化水素 光化学的粒子	オキシダント係数 0.15PPm/1h (ヨードカリ法によって) (眼の粘膜刺激など、植物損傷、視程減少)		
二酸化イオウ (亜硫酸ガス)	1PPm/1hまたは 0.3PPm/8h (植物損傷)	5PPm/1h (人間の気道狭搾)	10PPm/1h (人間に対し激しい影響)
一酸化炭素		30PPm/8h 120PPm/1h (人間の酸素呼吸障害)	
微細粒子	霧がないときに3マイル以下の視程になったとき、湿度70%以下		
エチレン	0.5PPm/1hまたは 0.1PPm/8h植物が冒されることを基準		
硫化水素	0.1PPm/1h 臭気を基準		
フッ化水素		3PPm/1h 皮膚はく離	

表1-7 大気汚染警報基準(ロスアンゼルス大気汚染防止局)(PPm)²³⁾

汚 染 ガ ス	オ1 警 報 (まだ安全、しかし予防手段が必要)	オ2 警 報 (初期健康障害)	オ3 警 報 (危険な健康障害)
一酸化炭素	1時間に対し 100 30分に対し 200 10分に対し 300	2時間に対し 100 1時間に対し 200 20分に対し 300	2時間に対し 200 1時間に対し 300
窒素酸化物	3	5	10
イオウ酸化物	3	5	10
オゾン	0.5	1.0	1.5

西ドイツでは大地に接する空気中の正常成分以外の物質の濃度をイミション値 (Immission Konzentration) とし、粉じんの場合には大地への降下物である。許容濃度 (MIK) は排出源から出たものが環境において希釈された状態の濃度を示す。それゆえ、その後の排出源が付加される場合には新しい排出源は MIK を維持するために厳重な排出管理が要求されることになる。すなわち、古い排出源は既得権をもち、新しい排出源は MIK を保つために非常な努力が必要である。このような概念からドイツ工業協会が勧告した環境基準値 (MIK) を表 1-8²³⁾ に示す。

一方、ソ連においては本章 1-1 においても述べたように生活環境の快適条件の保持を目的として大気汚染許容値が決定され、その値は表 1-9²³⁾ に示す。このような目的から有害物にたいする許容値が定められたのは世界最初のものである。ソ連の場合には環境の最高許容濃度は対策のための技術の現状とは無関係に、あくまでも衛生学的立場から決定されたものである。このためにここで規定された最高許容値はいずれも非常に低い値で、現段階では実行不能とみられるものもある。

表 1-8 西ドイツにおける大気汚染物の環境における最高許容濃度 (mg/m^3)²³⁾

物 質	平 均 濃 度	短時間濃度 30分
1. 塩 素	0.2	1.0
2. 亜硫酸ガス	0.5	0.75
3. 二酸化炭素	0.2	0.3
4. 硫化水素	0.15	0.3
5. 酸化窒素	1.0 (NO_2 として)	2.0

第 4 節 本研究の意図

大気汚染問題の源は古く 1306 年にイギリスの王室布告 (Royal Proclamation) に発し、石炭燃焼によるばい煙 (ばいじん) 問題は近世の文明進歩によってもたらされる繁栄の陰にかくされた害毒として社会を蝕んで来た。この傾向は産業、とくに工業の発展につれて激しさを加え、影響の及ぶ範囲も拡大され、先進工業国における社会問題となるに至った。さらに、今次大戦後の産業の急速な発展は欧米諸国はもちろんわが国においても著しく、石油系燃料へのエネルギーの転換ならびにその需要の飛躍的な増大により大気汚染は新局面を迎えた。すなわち、これまでのばいじんとは異なる SO_2 による汚染がこれで、汚染物の二次反応によるスモッグはロスアンゼルスに典型を示し、いまや、世界の各都市において関心が高まっている。大気汚染の原因には地勢、気象条件、国民性とともに都市の巨大化、交通の激増、産業の規模および種類の多様化など色々挙げられているが、大都市における大気汚染源としての自動車排気は近年急速にクローズアップされ、ロスアンゼルスのごときは自動車排気の制御ができればその防止目的がほぼ達せられるとさえいわれている。

一方、わが国における都市の大気汚染は産業排気にもとずく汚染が主役であるといわれているが、最近の都市交通の激化・都市面積ならびに道路の狭小などから排気ガスによる大気汚染は軽視し得ない²⁴⁾ 様相を呈している。また、自動車保有の急増から都市の大気汚染に排気ガスの占める比重が大巾に増大することは容易に推測され、その対策はゆるがせにできない。このような事態から、わが国においても大気汚染を含む公害対策はばい煙規制法、排気ガス規制、公害基本法と漸次実行に移されつつあるが、激化する公害の諸問題を根本的に解決するには程遠く、このような対策の立ち遅れの主なる原因にはわが国での大気汚染に対する基礎的資料がきわめて乏しいことが挙げられ、とくに自動車排気の場合には著しい。

本研究では、都市の大気汚染問題において大きな役割を演じつつある自動車排気に着目し、自動車の排気組成の変化、排出量、ならびに都市大気中の排気成分の実態把握、排出防止装置の実用的効果の検討から、自動車排気による大気汚染制御のための系統的基礎資料をえることを目的として、衛生工学的見地から各章で述べる研究を行なった。このような目標のために展開した各章における意図の概要はつぎのとおりである。

第一章では大気汚染全般に関する観察を行ない、世界各国ならびにわが国における大気汚染にたいする概念と特徴を明らかにする。

第二章では従来から測定が困難なために資料の乏しかった大気中の炭化水素成分の測定法について検討するとともに、低濃度成分の捕集法をえることを目的として検討した。

第三章では実用自動車の運転条件を実際の都市街路上で系統的に制御し、排気成分の変化と運転要素の関係を明らかにすることを目的として測定を行なった。

表 1-9 ソ連における居住地区の大気汚染最高許容濃度²³⁾

汚 染 物 質	最高許容濃度 (mg/m ³)	
	1 回瞬間 最高濃度	24 時間 平均
1. アセトン (acetone)	0.35	0.35
2. アセトフェノン (acetophenone)	0.003	0.003
3. アクロレイン (acrolein)	0.30	0.10
4. アミレン (amylene)	1.5	1.5
5. 酢酸アルミ (amylacetate)	0.1	0.10
6. アニリン (aniline)	0.05	0.3
7. ヒ素およびその無機化合物 (Asとして) (arsenic and its inorganic compounds)	—	0.003
8. ベンゼン (benzene)	2.4	0.8
9. ベンジン (Cとして) (benzine)	5.0	1.5
10. 酢酸ブチル (butyl acetate)	0.1	0.1
11. ブチレン (butylene)	3.0	3.0
12. 二硫化炭素 (carbon disulfide)	0.03	0.01
13. 一酸化炭素 (carbon monoxide)	6.0	1.0
14. 塩素 (chlorine)	0.1	0.03
15. クロロプレン (chloroprene)	0.25	0.06
16. クロルベンゼン (chlorobenzene)	0.10	0.10
17. シクロヘキサノール (cyclohexanol)	0.06	—
18. シクロヘキサノン (cyclohexanone)	0.04	—
19. 塩素酸 (H ⁺ として) (chloric acid)	0.01	—
20. シクロロエタン (dichloroethane)	3.0	1.0
21. シメチルホルムアミド (dimethylformamide)	0.03	0.03
22. シフェニル (二酸化シフェニル) (diphenyl, diphenyl dioxide)	0.01	0.01
23. 粉じん (無毒) (dust (non-toxic))	0.50	0.15
24. 酢酸エチル (ethyl acetate)	0.10	0.10
25. エチレン (ethylene)	3.0	3.0
26. フッ素およびその化合物 (Fとして) (fluorine and its compounds)	0.03	0.01
27. ホルムアルデヒド (formaldehyde)	0.035	0.012
28. フルフラール (furfural)	0.05	0.05
29. ヘキサメチレンジアミン (hexamethylenediamine)	0.001	—
30. 塩化水素 (hydrogen chloride)	0.05	0.015
31. 硫化水素 (hydrogen sulfide)	0.008	0.008
32. イソプロピルベンゼンの過酸化水素 (付加) 化合物 (hydroperoxide of isopropylbenzene)	0.007	—
33. 6価のクロム (CrO ₃ として) (hexavalent chromium)	0.0015	0.0015
34. イソプロピルベンゼン (isopropylbenzene)	0.014	—
35. 鉛及びその化合物 (Pbとして) (lead and its compounds)	—	0.0007
36. 硫化鉛 (lead sulfide)	—	0.0017
37. 無水マレイン酸 (maleicanhydride)	0.50	0.05
38. マンガンおよびその化合物 (Mnとして) (manganese and its compounds)	0.03	0.01
39. 水銀 (mercury)	—	0.0003
40. メタノール (methanol)	1.5	0.5
41. 酢酸メチル (methyl acetate)	0.07	0.07
42. メタクリル酸メチル (methylmethacrylate)	0.10	0.10
43. 酸化窒素 (N ₂ O ₅ として) (nitrogen oxides)	0.30	0.10
44. 硝酸 (H ⁺ として) (nitric acid)	0.01	—
45. ニトロベンゼン (nitrobenzene)	0.008	0.008
46. フェノール (phenol)	0.01	0.01
47. 無水リン酸 (phosphorus anhydride)	0.15	0.05
48. プロピレン (propylene)	3.0	3.0
49. 煤 (soot)	0.15	0.03
50. 硫酸 (sulfuric acid)	0.30	0.10
51. 硫酸 (H ⁺ として) (sulfuric acid)	0.01	—
52. 亜硫酸ガス (sulfur dioxide)	0.50	0.15
53. スチレン (styrol)	0.003	0.003
54. ジイソシアナートルエン (toluene-isocyanate)	0.05	0.02
55. 酢酸ビニル (vinyl acetate)	0.20	0.20

第四章ではこれまで述べられている排気の処理方法について考察するとともに、最近開発された装置および方式の実際走行における効果を測定し、現段階において実用的でしかも普及性のある排気防止法を見出すことを目的として実験を行なった。

第五章では自動車排気による都市の大気汚染の予測ならびにわが国の実情に適合した排気ガス規制、さらには都市計画にたいする衛生工学的基礎資料をえることを目的として、都市における自動車の平均的走行パターンを決定する合理的方法を検討するとともに実際の走行実験から平均的走行サイクルを導いた。

第六章では都市ならびに最近多くの建設が進んでいる自動車トンネル内とその出口付近における排気成分による大気汚染から自動車トンネルの管理や都市部計画のための衛生工学的基礎資料をえることを目的として、交通量の大きい交差点ならびに高速道路トンネルにおいて炭化水素成分を中心として実測を行なった。

第七章では本研究の成果の総括から今後検討されるべき諸点について考察した。

参 考 文 献

- 1) 鈴木武夫, 興重治, 坂部弘之; 大気汚染について, 公衆衛生院研究報告, 6(1), 8-15, 1956
- 2) 伊東彌自; 大気汚染と制御, P 258, 地人書館, 東京, 1961
- 3) 公害と防災編集委員会; 大気汚染Ⅰ, P 378, 白亜書房, 東京, 1966
- 4) 加藤一郎; 外国の公害法研究の意義, ジュリスト, P 324, 10-11, 1965
- 5) 通商産業局企業立地政策課, 厚生省環境衛生局環境衛生課; 大気汚染便覧, P 359, 日本公衆衛生協会, 東京, 1966
- 6) 渡辺弘; ソ連における大気汚染防止対策, 生活衛生, 4(1), 37-45, 1960
- 7) Faith, W. F., 内藤幸穂訳; 大気汚染と公害処理, P 222, 技報堂, 東京, 1967
- 8) 天野博正; 公害の基礎理論, 公害, 3, 53-59, 4, 41-48, 5, 30-36, 1965
- 9) 庄司光, 宮本憲一; 恐るべき公害, P 299, 岩波, 東京, 1964
- 10) 木村恒行, 木村耕三; 産業公害, P 299, 日刊工業新聞社, 東京, 1964
- 11) 大気汚染全国協議会; 大気汚染気象ハンドブック, P 482, コロナ社, 東京, 1965
- 12) Stern, A. C.; Air Pollution, P 586, Academic Press, New York, 1962
- 13) 中野道雄; スモッグ, 化学, 18(3), 205-214, 1963
- 14) 大河内一男; 公害, P 274, 東京大学出版会, 東京, 1966
- 15) Meetham, A. R.; Atmospheric Pollution, P 301, Pergamon Press, New, 1964
- 16) 大気汚染研究全国協議会; 日本の大気汚染, 公衆衛生, 24(3), 17-151, 1960
- 17) 浅川照彦; 大気汚染の実態と公害対策, P 350, 昭晃堂, 東京, 1967
- 18) 吉田克己; 四日市の大気汚染「四日市ぜんそく」について, 労働の科学, 19(12), 15-20, 1964
- 19) 大喜多敏一; 大気汚染, P 220, 総合図書, 東京, 1966
- 20) 公害と防災編集委員会; 大気汚染Ⅱ, P 288, 白亜書房, 東京, 1967
- 21) 足立泰一, 清水源昭; 石油化学工業における大気汚染対策, 化学工業, 16(10), 934-939, 1965
- 22) 三浦豊彦; 大気汚染による物的, 経済的損害, 労働の科学, 19(12), 4-6, 1964
- 23) 寺部元次; 空気汚染の科学, P 390, 技報堂, 東京, 1966
- 24) 多田治; 自動車排気と大気汚染, 労働の科学, 41(10), 481-492, 1965

第二章 大気汚染物測定に関する実験的研究

緒 言

一般に、大気の汚染物質は低濃度で広い地域に広がり、種々の慢性障害や経済的損失を与える場合と、気象条件、汚染成分の二次反応などにより地表に有害物が蓄積して急性障害を呈する場合とがある。¹⁾このような大気汚染の被害を防止するために有害成分の観測がなされ、 SO_2 などについては従来から多くの資料が報じられている²⁾。

しかし、近年の燃料の転換から大気の汚染は従来の石炭などの燃料にもとずくそれとは全く異なった様相を呈しつつある。たとえば、石油系燃料の燃焼生成物中には多種類の炭化水素類が含まれ、窒素酸化物などとの光化学的スモッグとして大きくクローズアップされた³⁾。

なかでも、都市で飛躍的に増大する自動車の排気が大気汚染の重要な因子として注目されるに至った⁴⁾。しかし、大気中の炭化水素にたいする従来の測定法は複雑な前処理や分析操作を必要とし、共存する成分の妨害作用などから有効な実態資料ははたは少ない⁵⁾。

一方、分析化学における機器分析法の発展はめまぐるしく、装置の改良、性能および精度の向上から多くの問題が解決されつつある。大気汚染物の測定もこれによる恩恵は著しく、特定汚染物の連続観測や遠隔地点の測定を集中管理するいわゆる大気汚染ネットワークなどとして大いに利用されつつある⁶⁾。しかし、石油系燃料の燃焼生成物、とくに都市大気中の自動車の排気成分は多種類で、しかも低濃度で、現在の分析機器のもつ検出感度を大きく下廻る場合が多い。このため分析試料の調整など未だ多くの問題点がみられる。

本章では、都市大気中の自動車排気成分の測定方法を確立するために、ガスクロマトグラフ法の応用について若干検討し、実用的な方法をもとめた。

第1節 大気汚染の機器分析⁷⁾

大気汚染物はガス状と非ガス状に大別され、ガス状のものは有機ガスと無機ガスに区別される。非ガス状のものは、ばい煙、じんあい、ヒュームまたはミストのような固体や液体の粒子が含まれる。汚染物は大気中で複雑な組成をもつて存在し、各成分の大気中の濃度範囲も数ppbから数百ppm（または数 $\mu\text{g} \sim \text{mg}/\text{m}^3$ ）と非常に広く、諸条件によって様々な変化を示す。このようなことから、従来の大気汚染物の測定はつぎに述べる方法のいずれかにもとずいてなされている⁸⁾。

1-1 特定成分の分析

多数の成分のなかでもっとも有害度の大きい成分、あるいは、もっとも測定の容易な成分のみに着目するもので、指標成分の濃度変化が他の有害成分の増減傾向と全く対応すると仮定されている。測定は一定期間の積算値、または連続的に濃度変化の記録でなされる。

従来からの大気汚染物測定法の主要なものは表2-1²⁾のとおりで、検出感度は多くの場合ppmレベルである。しかし、これらは数種の有害成分が共存する場合の相互関係をみるためには、多くの方法を平行する必要があり、かなり煩雑となる。そのうえ、実際には指標成分の消長と他の有害成分の変化傾向が一致しない場合が非常に多い。とくに、自動車排気による大気汚染の評価においては、汚染源である排気組成が運転条件により大きく変動するため、特定成分のみによる汚染状況の判定は好ましくない⁸⁾。

表 2-1 大気汚染環境測定法²⁾

	汚 染 物 質	積 算 測 定 法	瞬 間 濃 度 測 定 法	連 続 測 定 法 (自動測定記録)
粒 状 物 質	降下ばいじん	デボジットゲージまたはダストジャー	ベトリーざら法	
	浮遊ばいじん	数をかぞえる方法	デジタル粉じん計 カスケート インパクター	浮遊粉じん 自動測定記録計
		重量濃度法	ハイボリューム エアースンプラー 電気集じん器	
		相対濃度法		テープエアサンプラー 労研式インパクター
ガ ス 状 物 質	海塩粒子 (NaCl)	ガーゼ捕集法		
	イオウ 酸化物 (SO ₂ , SO ₃)	二酸化鉛法 アルカリ紙法	ロザリニンホルマリン 法 検知管法	亜硫酸ガス自動測定記録計
	窒素 酸化物 (NO, NO ₂)		ザルツマン法 検知管法	窒素酸化物自動測定記録計
	硫化水素 (H ₂ S)	酢酸亜鉛 円筒法	メチレンブルー法 検知管法	硫化水素自動測定記録計
	一酸化炭素 (CO)		検知管法	一酸化炭素自動測定記録計
	オゾンおよび過酸化物	ゴムひび割れ法	ヨードメトリー法 フェノール フタレイン法	オゾンメーター
	その他のガス		インピンジャーによる 捕集法 検知管法 ガスクロマトグラフ法	

1-2 全 分 析

前記に述べた欠点から、有害成分の全てを測定する、いわゆる完全分析がのぞまれるが、現在のところこの目的に適した実用的装置はなく、できるだけ多くの成分を同時に分析する方法が開発されつつある。これに属するものとして赤外線吸収法 (IR)、質量分析法 (MS)、ガスクロマトグラフィー (GLC) などが挙げられ、MSは高感度で感度の応答が早い。IRも長光路セルで微量成分の測定が可能で、低濃度成分の測定に有利な方法である。しかし、これらの方法では試料中の妨害物質 (水分など) の除去や、同系成分を含む試料の分析には不適當で、むしろ特定成分の連続測定に適した方法とみられる⁸⁾。GLCは多種類の成分を含む試料に高い分離能をもち、検出感度も高いことから、大気汚染物の全分析用としてもっとも秀れた方法とされている⁹⁾。しかし、GLCにも汚染物の連続測定ができないこと、無機成分にたいする検出感度が低いなどの欠点があげられる。

1-3 大気汚染物測定におけるガスクロマトグラフィー¹⁰⁾

大気汚染物の組成が複雑で、その種類も多岐で、濃度範囲が広いことから、一種の方法で全てを分析することはほとんど不可能である。大気汚染物の分析に理想的な機器の条件はつぎのようである。1) 各成分の分離がきわめてよく、性質の異なる成分群を同一方法で分析できる。2) 成分にたいする検出感度ができるだけ高く、空気成分 (O₂, N₂, CO₂) や水による妨害を受けない。3) 短時間に測定結果がえられる。4) 瞬間値の連続記録ができる。5) 装置の運搬、移動が容易で、かつ操作が簡単で、経費が安いことなどである。

1) の点からはGLCがもっとも秀れ、ついでMSが有利とされている。いずれも都市大気汚染に大きな部分を占める

炭化水素類の分析には有効な方法であるが、反応性の強い汚染成分の場合には若干の問題を有する⁸⁾。

2) の検出感度の点については試料の前処理(濃縮、抽出など)によってある程度の不足は補われるが、この場合に生じる誤差や操作の点から直接に試料を分析する方法が望ましい。さらに、IRとMSでは空気中の水分などによる妨害作用が分析成果に大きな影響をもたらす⁸⁾。GLCでは分離が水分などで低下することもあるが、分離管の種類によってはほとんど影響されず、水素焰イオン化方式は水分が検出感度にほとんど影響しない⁹⁾からにはたはだ有効である。

3) の点については、分析所要時間が短いほど有利で、機器分析の場合はいずれも大差はない。しかし、同一条件下でどれだけ多くの成分が分析できるかの点からみればGLCがもっとも有利である。

4) 大気汚染物の経時変化を追求して、他の要因と対比検討するには瞬間値の連続測定が不可欠となる。この点ではGLCおよびMSははたはだ不都合である。しかし、GLCでは汚染空気の分析に要する時間が比較的短かく、試料採取を考慮することによってある程度満たされる。

5) 汚染物の挙動はきわめて複雑で、しかも地域の立地、気象条件などに大きく支配されるから、汚染地域についての総合的検討を行なうにはできるだけ多くの測定地点の成績から判断されるべきである。そのために運搬、移動の容易な測定装置や安価なものが非常に有利である。しかし、連続記録可能なものは、大型で高価なものが多く不都合であるが、最近には比較的取扱いの簡単な全炭化水素分析計などが開発されつつある¹¹⁾。GLCもこの点では不便さをまねがれえないが、連続記録を主目的としていないから試料採取地点、回数を考慮することによって地域全般にわたる大気汚染の実状を把握することには差支えない。

第2節 ガスクロマトグラフィーの概略¹²⁾¹³⁾

2-1 歴史的概説

クロマトグラフィーの概念は1906年にTswett¹⁴⁾の液-固クロマトグラフィーが最初とされ¹⁵⁾、TiseliusやClaesson¹⁵⁾らが発展させた。1943年にTurner¹⁶⁾の炭化水素の分離から、吸着クロマトグラフィーについて多く研究され、従来の石油系炭化水素の分析法が不充分であることから、ガスクロマトグラフィー(GC)が実用化された。分配クロマトグラフィーはMartinら¹⁷⁾により液-液の形で導入されてペーパークロマトグラフィーへ発展した。1952年以降、Jamesら¹⁸⁾¹⁹⁾、Griffithsら²⁰⁾、Ray²¹⁾、Janak²²⁾、Bradfordら²³⁾などによってガスクロマトグラフィーの充填物、装置、分析条件、操作などの面で飛躍的に発展され、今日では化学、生物学、医学、薬学、農学、工学などの分野で利用されている。

2-2 クロマトグラフィーの分類²⁴⁾

クロマトグラフィーでは混合物中の成分が固定相と移動相に分配され、固定相は吸着性の固体と、液体の場合がある。移動相も液体と気体(蒸気)の場合があり、これらの組み合わせからつぎの4種の基本的形式に分類される。

- | | | |
|----------|----------|-------------------|
| 1. 固体固定相 | 1. 液体移動相 | 液固クロマトグラフィー(LSC). |
| | 2. 気体移動相 | 気固クロマトグラフィー(GSC). |
| 2. 液体固定相 | 3. 液体移動相 | 液液クロマトグラフィー(LLC). |
| | 4. 気体移動相 | 気液クロマトグラフィー(GLC). |

一般に、GSCおよびGLCをガスクロマトグラフィー(GC)と称されている。

2-3 装置の概略²⁵⁾

ガスクロマトグラフィー(GC)の主要部分は i) 流速を調整してキャリアーガスをえる装置、ii) カラムとその恒温槽、iii) 試料を送入する装置、iv) 溶出成分の検出装置からなる。

本研究に使用したGC(柳本5DH)のフローシートを図2-1に示す。この装置は完全補償ダブルカラム方式で、

ベースラインの安定が良い¹³⁾。キャリアガス流の対照側は流量制御ののち、対照カラム、熱伝導度型検出器 (TCD) の対照側を経て水素焰イオン化検出器 (FID) の対照ジェットノズルへと流れる。一方、試料側も流量制御ののち、液体試料注入口、試料カラム、TCDの検知側を経てFIDの試料ジェットノズルへ流れる。FIDへは別の流路から水素および空気が送られる。分離カラムの恒温槽は連続昇温式で、沸点範囲の広い試料の分析に有利である²⁶⁾。試料の注入はマイクロシリンジ (2~50 μl) または、注射器を用い、捕集トラップを使用するときは外付試料採取管のバイパス切り替えコックを利用する。

分離カラムを通過した各成分はTCDおよびFIDで検出され、記録計 (1 mV/sec/300 mmフルスケール、2ペン方式、チャートスピード0.5~80 mm/min) で記録される。

2-4 検出器の分類と原理¹²⁾

一般の検出器は微分型であるが、質量積分検出器などの積分型もある。積分型検出器は多様性がなく、感度も低く、複雑な混合成分の分離、定量が困難で、実際にはほとんど用いられない。一方、微分型検出器によるクロマトグラムはキャリアガス中の検出成分の時間的変動を示す。この方式では微量成分の検出も可能で、保持時間の測定も容易である。微分型検出器は非イオン型とイオン型とに大別され²⁶⁾、前者はイオン化をとまなわぬ気体の物理的、化学的性質を利用した検出器で、TCD、気体密度計などがあり、多くは主成分の検出に利用される。後者は水素焰、放射線あるいは放電などによる気体のイオン化現象を利用したもので、前者にくらべて感度が著しく高く微量成分の検出に利用される。また、検出器で成分の破壊が生じるか否かによって検出器を破壊型と非破壊型とに分けられる²⁷⁾。すなわち、検出器を通過した成分を再び捕集して別に利用する場合には滴定セル、FIDなどの破壊型は使用できない。

本研究に使用したGCにはTCDとFIDの二種類の検出器が用いられており、両者の検出原理の概略をつぎに述べる。

2-4-1 熱伝導度型検出器^{27) 28)} (TCD)

キャリアガスと異なった熱伝導度をもつ成分があるときに、電流で加熱した金属素子の抵抗値が変化する現象を利用したもので、抵抗値の変化はキャリアガス中の対照エレメントと検知エレメントをホイーストブリッジの回路とした抵抗値の差として検知され、記録計への出力は電気的バランスのずれとしてとり出される。

この型の検出器構造の概略は図2-2に示す。フィラメントからの熱損失は熱伝導、熱対流 (自然対流とキャリアガスによる強制対流)、端損失 (伝熱)、熱放射の機構が考えられ、熱伝導とキャリアガスによる強制対流による損失が全損失の75%以上を占め、熱放射による損失は25%以下である¹²⁾。

図2-1 ガスクロマトグラフのプロシート

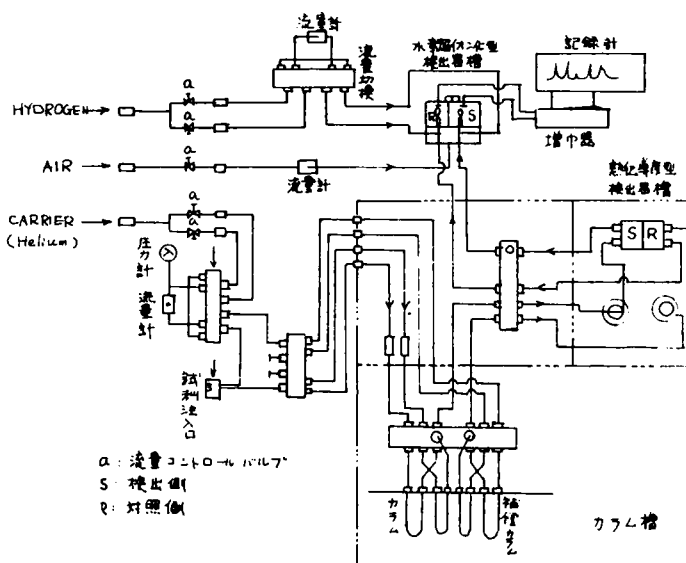
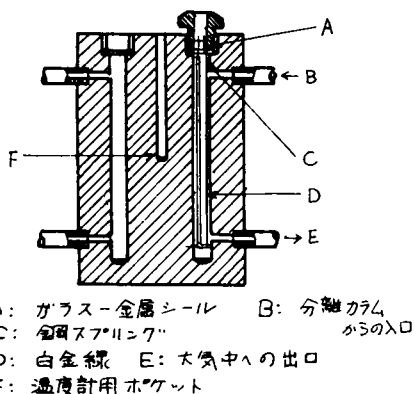


図2-2 熱伝導度検出器の構造



検出器の応答にたいする理論式は近似的につぎのように表わされている²⁹⁾。

$$q = \Delta T L \{ 2\pi k + (m/2L) C_p \} / \ln(r_c/r_f) \dots (2-1)$$

q : 検出器内部の熱移動量, L : フィラメントの長さ, r_f : フィラメントの半径

r_c : セルの半径, k : 気体の熱伝導度, ΔT : フィラメントとセル壁の温度差

m : 分子ガス流速, C_p : 分子熱容量

検出器からの信号は q の変化 Δq であるから

$$\Delta q = \Delta T G \{ 2\pi \Delta k + (m/2L) \Delta C_p \} \dots (2-2)$$

ただし, $\Delta T = \text{Const.}$ $G = L / \ln(r_c/r_f)$

また, モル当りのフィラメントの温度変化 $\Delta T_f/x$ は次式³⁰⁾ で与えられ, この値がフィラメントからの信号で, フィラメントとセル壁の温度差 ΔT に比例し, $k_s < k_g$ で正, $k_s > k_g$ で負となる³⁰⁾。

$$\Delta T_f/x = \Delta T \{ (k_g/k_s) - 1 \} \dots (2-3)$$

k_g : キャリヤーガスの熱伝導度

k_s : 検出成分の熱伝導度

x : 検出成分のモル分率

ΔT_f : フィラメントの温度変化

実際の TCD の応答は, ホーストンプリッジ回路によって電気的にとり出され, 出力信号電圧 E_o の最大は次式²⁷⁾ で示され, 幾何学的, 電気的, 熱伝導度因子の 3 項の積である。

$$E_o \max = \left\{ \frac{\ln(r_c/r_f)}{2\pi L} \right\} \left\{ \frac{\alpha E_i R_o i_i^2}{4J} \right\} \left\{ x \left(\frac{1}{k_s} - \frac{1}{k_g} \right) \right\} \dots (2-4)$$

ここで, $E_o \max$: 最大信号電圧, R_o : 温度 T_o におけるセンシングエレメントの抵抗値, α : フィラメント金属の抵抗の温度係数, J : 熱の仕事当量

2-4-2 イオン化検出器³¹⁾

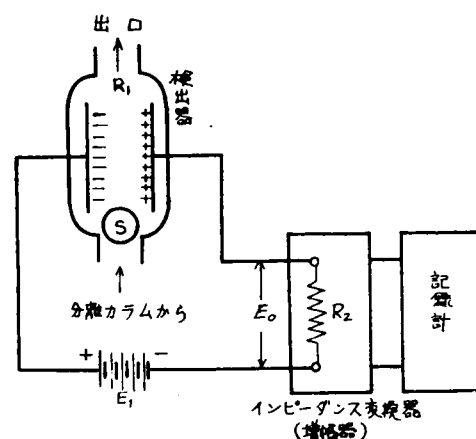
常温, 常圧下で, 気体は一般に電気を伝導する性質をもたないが, 気体分子のイオン化を促すに十分なエネルギー源があり, これによって帯電した原子 (分子) および自由電子が生成したとき, そこに外部から電場をかけられるとその気体は電気伝導性を帯びてくる。この現象を利用したものがイオン化検出器で, 一般的原理を図 2-3 に示す。水素焰イオン化検出器はイオン化源に水素焰を用いるもので, Harley¹²⁾ によって開発された。一般の無機ガスは検知せず, 有機物の検出感度がきわめて高い。安定性も良好で, キャリヤーガス流速の変化に敏感でなく, 試料濃度との応答の直線性が広いなどの特徴を有する¹³⁾。

水素焰での有機物のイオン化機構は未だ完全な解明がないが, この現象の説明には次の二つの仮説がある。

A) 炭素凝集説³²⁾

Stern³²⁾ は, 水素焰中に微量の有機化合物が入ってきたときにみられるからり大きなイオン濃度を, 炭素原子の低い仕事関数 (イオン化電圧; 4.3 eV) から説明できるとした。すなわち, 炭化水素の入った焰中のイオン濃度は 1 ml あたり通常 $10^{10} \sim 10^{12}$ イオンで, この値は C_2 を含む有機化合物分子のイオン化電圧から考えると, 説明できないほどの大きな値である。したがって, 有機化合物は焰の中で熱分解されて炭素原子と水素原子にわかれ,

図 2-3 イオン化検出器の原理回路²⁸⁾



R_1 : 電極間のみかけ上の抵抗

S : イオン化源

E_i : 直流電源

R_2 : インピーダンス変換器の入力抵抗

E_o : R_2 の両端に生じた電位差

含有されている炭素がいずれも炭素原子固有の低い仕事関数に近い値をとり、生成した炭素ラジカルが重合して炭素原子約50,000程度の炭素微粒子となる。この炭素微粒子も炭素原子と同様に、低い仕事関数で熱電子を放出してイオン化されると述べた。この仮説は自由炭素が重合し易い傾向をもつこと、水素焰イオン化検出器の応答が炭素含有量と比例性をもっていることからイオン化の説明に都合がよい。

B) 化学イオン化説¹²⁾

Sternの仮説を批判したCalcote¹²⁾の説で、有機化合物分子はまず焰の中で分離されて、C, CH, CH₂などを生じる。これがさらに酸化されるときに生成する大きなエネルギーが有機化合物のフラグメントをイオン化すると述べた。

2-5 ガスクロマトグラフィーの理論的取り扱い^{35) ~ 36)}

ある成分(X)にたいして微分型検出器を用いた溶出曲線の様式を図2-4に示す。横軸は時間で、移動相流速が一定の場合は容積軸で、縦軸は成分の濃度である。

成分Xの保持容量 V_R は³⁷⁾ 下記のよう示される。

$$V_R = F \cdot t_R \quad \dots (2-5)$$

F; カラム出口におけるキ

ャリヤーガスの流速

t_R ; 成分の注入点からピー

クの最高点が現れるま

での時間

GSC, GLCでの分離は成分と固定相の親和力の差異にもとづくもので、それは分配係数 k で定義され、溶質濃度に無関係と仮定される。

$$k = \frac{\text{固定相の単位容積中に含まれる容質量}}{\text{移動相の " "}} = \left(\frac{C_L}{C_G} \right)_{eq}$$

保持容量と気液の分配係数は下記の式³⁷⁾であらわされる。

$$V'_R = F \cdot t_R \cdot f = V' + kV_S \quad \dots (2-6)$$

V' ; カラムを占める気相容積

V'_R ; 補正保持容量

V_S ; カラム温度での固定相液体の容積

f; キャリヤーガスの圧縮性による補正係数

V' は $k \rightarrow 0$ であるような化合物(不活性ガス)の実測からえられ、 $V'_R - V' = V_R^0$ とおくと見かけの保持容量 V_R^0 は³⁷⁾は下記のよう示される。

$$V_R^0 = kV_S = k \frac{w}{\rho} = t \cdot F \cdot f \quad \dots (2-7)$$

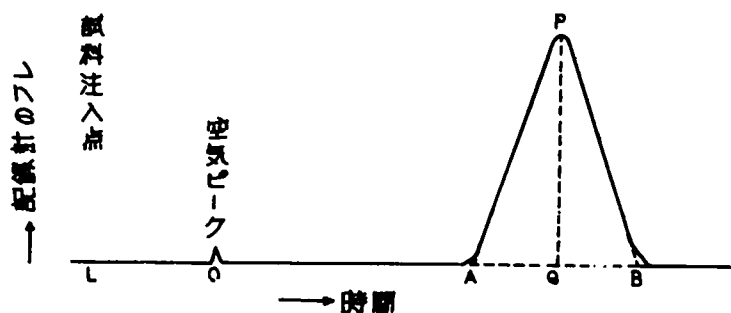
ρ ; 液体の密度

t; 図2-5でOQに相当する時間

w; 固定相液体の重量

また、気相中での成分Xのモル分率を x_g 、全圧をPとするとRaultの法則から

図2-4 クロマトグラム



$$\frac{x_g}{x_l} = \frac{r \cdot P_x^0}{P} \quad \dots (2-8)$$

x_l ; 溶液中でのXのモル分率

r ; 活量係数

P_x^0 ; 成分Xが純粋な形である場合の蒸気圧

となる。単位容積あたりの液体とガスのモル数を N_L, N_G とすると分配係数はつぎのように示される。

$$k = \frac{x_l}{x_g} \cdot \frac{N_L}{N_G} \quad \dots (2-9)$$

式2-8, 2-9, およびボイルの法則 $P = N_G RT$ から k はつぎようになる。

$$k = \frac{N_L RT}{r P_x^0} \quad \dots (2-10)$$

分配係数が一定の場合には r —一定であるから式2-7は

$$V_k^0 = \frac{N_L RT}{r P_x^0} \cdot V_s \quad \dots (2-11)$$

R ; ガス恒数 T ; 絶対温度

となり, ある成分の保持容量は固定相液体と温度が与えられるとき, r および P_x^0 で表される²⁴⁾。

式2-7で, V_R^0 は固定相液体の重量に関係するから, 重量に無関係な量とするために, 単位重量あたりの保持容量をきめ, 標準状態に換算して比保持容量, V_g , とするとつぎようになる。

$$V_g = \frac{273 V_R^0}{T_c \cdot w} = \frac{273}{T_c} \cdot \frac{K}{\rho_c} \quad \dots (2-12)$$

T_c ; カラム温度K

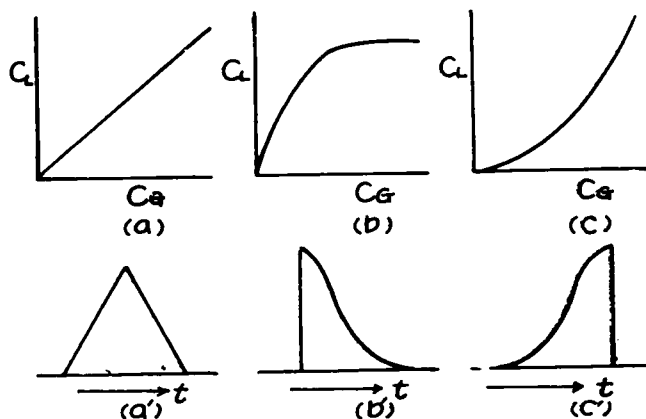
ρ_c ; カラム温度における固定相液体の密度

溶質と固定液相および温度の組合せによって $C_L \sim C_G$ 曲線 (液相—気相濃度曲線) は図2-5の

ように, (a) C_G に関係なく k が一定 (linear isotherm) の場合と, (b) のように C_G によって k 値が変化する場合 (non linear isotherm) がある。図にはそれぞれ対応するピーク形をも示す。さらにカラム内の気液平衡が常に成立する場合 (理想的)

と気液平衡に達しない場合 (非理想的) からGCはつぎの4とおりに分けられる。

図2-5 等温線とピーク形



	理想クロマトグラフィー	非理想クロマトグラフィー
線型等温線	I	II
非線型等温線	III	IV

2-5-1 線型クロマトグラフィー²⁴⁾

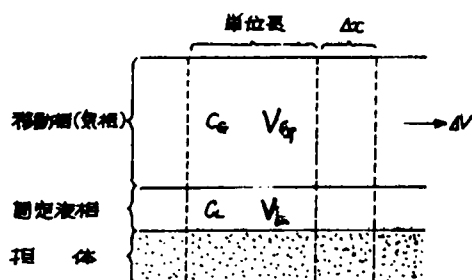
カラムの断面を図2-6に示すモデルとする。単位長のカラム内に含まれる溶質の全量 q は

$$q = C_G V_G + C_L V_L \quad \dots (2-13)$$

V_G ; カラム単位長内の気相容積

C_G ; 気相内の溶質濃度

図2-6 カラム断面図 (軸方向)



V_L : カラム単位長内の液相容積

C_L : 液相内の溶質濃度

となり、キャリアーガスが ΔV だけ通ったために溶質帯が Δx 移動したとすると、物質収支から

$$q \Delta x = C_G \Delta V \quad \dots (2-14)$$

となり、式2-13と2-14から移動率 $\Delta x / \Delta V$ はつぎのように示される。

$$\frac{\Delta x}{\Delta V} = \frac{C_G}{C_G V_G + C_L V_L} = \frac{1}{V_G + \frac{C_L}{C_G} V_L} \quad \dots (2-15)$$

分配係数の定義から $k = C_L / C_G$ であるから、上式はつぎようになる。

$$\frac{\Delta x}{\Delta V} = \frac{1}{V_G + k V_L} \quad \dots (2-16)$$

固定相に全く溶解しない理想溶質では $C_L = 0$ であるから、 $(\Delta x / \Delta V) = 1 / V_G$ である。ある溶質の $(\Delta x / \Delta V)$ と理想溶質の $(\Delta x / \Delta V)$ の比をその溶質の R_F 値とすると、分配係数 k はつぎのように示される。

$$k = \frac{V_G}{V_L} \left(\frac{1}{R_F} - 1 \right) \quad \dots (2-17)$$

ここで R_F は従来のクロマトグラフィーにおける移動率に相当する。

溶質とキャリアーガスがカラムを通過するのに要する保持時間を t_R , t_{R_0} 、とすると

$$t_R = (1 + \mu) t_{R_0} = \left(1 + k \frac{V_L}{V_G} \right) t_{R_0} \quad \dots (2-18)$$

$$\text{ここで, } R_F = \frac{1}{H \mu}, \quad \mu = k (V_L / V_G)$$

である。固定相の種類と温度がきまると、ある溶質についての k が定まり、カラムの断面積と固定相で V_L / V_G がきまるから、キャリアーガスの流速に対応する保持時間が決定され、各成分は k の相違によって分離される。

2-5-2 非線型クロマトグラフィー²⁴⁾

I) 二項分布型^{38) 39)}

移動相、溶媒の容積が V_m , V_s 分配係数が k である抽出系では、移動相と溶媒に分配される溶質の割合は

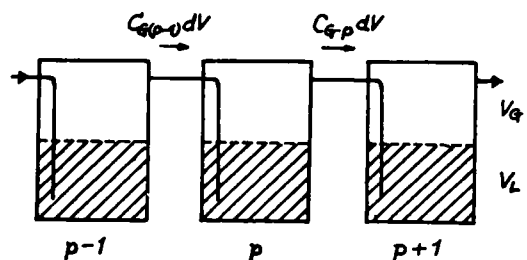
$$V_m / (V_m + k V_s) : k V_s / (V_m + k V_s) \quad \dots (2-19)$$

となるから、 n 回の操作で $(n+1)$ 個の容器に分布される溶質の量は $(a+b)^n$ の展開形の各項で示される。ここで、 $a = k V_s / (V_m + k V_s)$, $b = V_m / (V_m + k V_s)$ であるから、 k の違いで二種の溶質が分離され、 k 値の小さいほど溶質の移動は速い。

II) ボアツソン分布型⁴⁰⁾

移動相の連続的流れを考慮し、カラムを多数の等容積の部分(理論段)に分けて、一種の抽出器とするPlate theoryで、カラムのモデルを図2-7に示す。ここで、気相と固定相の容積は各段とも等しく、 V_G , V_L とし、各段での気液平衡が成立して $k = \text{const.}$ と仮定する。P段での溶質の気、液相濃度を C_{GP} , C_{LP} とし、 $(P-1)$ 段から容積 dV なる気体がP段に流入すると $(P-1)$ 段から $C_{GP-1} dV$ の溶質がP段に移り、同時にP段から $C_{GP} dV$ の溶質が $(P+1)$ 段に流出する。これによってP段の気、液相溶質濃度が dC_{GP} , dC_{LP} だけ変化したと

図2-7 理論段の模型



すると

$$\frac{dC_{GP}}{dV} = \frac{C_G(P-1) - C_{GP}}{V_G + kV_L} \quad \dots (2-20)$$

溶質ははじめは最初の段のみに収容されるとして上式から

$$C_{GP} = C_{G0} \frac{e^{-v \cdot v^P}}{P!} \quad \dots (2-21)$$

ただし、 C_{G0} = 初段の気相濃度、 $v = V/V_G + kV_L$

ここで、 $C_P = C_{GP}/C_{G0}$ とおくと

$$C_P = \frac{e^{-v \cdot v^P}}{P!} \quad \dots (2-22)$$

とポアソン分布の式となる。それゆえ、溶質濃度は $P=v$ で極大となり、ピーク幅は $4\sqrt{P}$ である。また、ピークの極大がカラムを出るまでに、通過したガス容積は理論段数に等しく、通常の保持容量 V_R とは

$$V_R = n(V_G + kV_L) \quad \dots (2-23)$$

の関係がある²⁴⁾。ここで nV_G はカラムの気体のホールドアップである。

カラムの最終段 m における気相濃度 C_{Gm} はつぎのように示されている²⁴⁾。

$$C_{Gm} = \frac{Q}{V_E \sqrt{2\pi m}} \cdot e^{-F(t-t_R)^2 / 2nV_E^2} \quad \dots (2-24)$$

Q ; 送入した溶質の全量

$V_E = V_G + kV_L$

F ; キャリヤーガスの流速

t ; 溶質送入時の経過時間

t_R ; 保持時間

保持時間 t_R は

$$t_R = \left(1 + k \frac{V_L}{V_G}\right) t_{R0} \quad \dots (2-25)$$

t_{R0} ; キャリヤーガスの保持時間 ($k=0$)

となって、理想クロマトグラフィーから導かれた式 2-18 と一致する。

2-5-3 カラム効率 (Van Deemter の式)

Van Deemter³⁸⁾ は GLC の HETP (height equivalent to a theoretical plate, = カラム長/理論段数) について、カラム内の物質収支からつぎの基本式を示した。ただし、気相での拡散は液相よりもはるかに大きいから物質の移動にたいする抵抗はもっぱら液相にあると仮定した。

$$H = 2\lambda d_p + \frac{2r \cdot D_{gas}}{u} + \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{k'}{(Hk')^2} \cdot \frac{d_f^2}{D_{liq}} u \quad \dots (2-26)$$

H ; HETP, λ ; 充填物特有の値, d_p ; 粒子の平均直径

r ; ガスの通過する細路のまがりくねりによる補正係数

D_{gas} ; 気相における拡散係数, D_{liq} ; 液相における拡散係数

u ; キャリヤーガスの線速度, k' ; $k (F_{liq}/F_{gas})$

k ; 分配係数, F_{liq}/F_{gas} ; カラム断面で液相と気相が占める面積比

d_f ; 担体につけられた固定相液体の有効な厚さ

この式の第一項は渦拡散による項、第二項は分子の拡散による部分、第三項は物質移動による部分である。

式 2-26 において

$$A = 2\lambda d_p, \quad B = 2rD_{gas}, \quad C = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{k'}{(1+k')^2} \cdot \frac{d_f^2}{D_{liq}}$$

とおくと、つぎのようになる。

$$H=A+\frac{B}{u}+Cu$$

すなわち、 H は $u=\sqrt{B/C}$ で極小値 $H_{\min}=A+2\sqrt{BC}$ を示すが、この関係の $H\sim u$ 曲線を図2-8に示す。キャリアーガス流速がきわめて小さいところで H は第二項 B/u に支配され、気相溶質の分子拡散の効果が大きいことを示す。流速が大きくなると、 $H\sim A+Cu$ となって $H\sim u$ の関係はほとんど直線となり、直線部分の延長の切片は $A(=2\lambda dp)$ を与える。第三項の C は分配係数 k に関係するから、第二項が無視できる u の大きい領域では溶質の k による $H\sim u$ 曲線に相違がある。

Plate theory はカラムを不連続な理論段の集合としてピーク形を推論し、理論段数の概念を示した。カラムを連続として取扱い、実際のカラム内で起こる諸条件から、理想的クロマトグラフィーでは説明できないピークの拡がりを説明しようとするのが、HETPの概念でRate theory²⁴⁾といわれる。すなわち、Plate theory ではカラムの理論段数 n を実験的に求められるが、 n を大きくして分離能力を増すための指示はえられない。Rate theory では理論段の一段に相当するカラム長、すなわち、HETPを物理的諸項であらわせるから、HETPを小さく(n を大きく)する手段を示す。このようにHETPの概念からカラム効率にたいする最適操作条件が示されるが、充填物に関する諸因子など未解決の点もあって、現在のところは実験的に求めた n から H が算出されている。

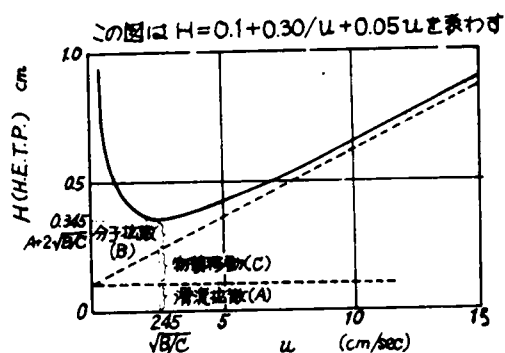
2-6 固定相担体

固定相担体は分配平衡と平衡に達する時間、カラムの性能などの点からキャリアーガスの流れにたいする抵抗の小さい、表面積の大きい多孔性の不活性粒子が有利とされている²⁴⁾。また、カラムへの充填のため適当な機械的強度ものぞまれる⁴⁰⁾。ガラス粒子¹⁴⁾食塩⁴¹⁾砂⁴²⁾なども用いられたが、Jamesら⁴³⁾のcelite 545から多孔質の珪藻土粒子が広く使用され、最近では水晶粉末⁴⁴⁾界面活性剤³³⁾フッ素樹脂⁴⁴⁾なども利用されている。珪藻土は珪酸と化合水から構成されたもので、天然のものは沈着時の夾雑物を含んでおり、珪酸が包有する。空隙が担体として表面積の大きいことを満足させる。しかし、夾雑物や珪殻の種類で空隙の様子は変り、担体としての性能は無水珪酸の含量では判定できない⁴⁵⁾。表2-2¹⁵⁾に各所で産出される珪藻土の分析値を示す。また、Kwantsら⁴⁶⁾、Keulemans²⁴⁾、Eggerstsen⁴⁷⁾

表2-2 ケイ藻土の分析値¹⁵⁾

品名	産地	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	N ₂ O	灼熱減量
輪島小峯山 ケイ藻土	石川県鳳至郡輪島町 外小峯山	62.00	19.35	6.49	0.25	1.71	—	—	9.92
和倉温泉 ケイ藻土	鹿島郡石崎村 和倉温泉	74.28	11.79	1.59	0.56	0.82	—	—	10.22
塩津 ケイ藻土	鹿島郡 笠師保村塩津	56.19	20.51	3.67	2.84	1.39	—	—	13.30
中乃嶋村 ケイ藻土	鹿島郡 中乃嶋村	72.54 ~68.84	9.22~ 14.23	1.64 ~3.42	0.60 ~0.12	1.26 ~0.93	—	—	11.96 ~21.93
豊後 ケイ藻土	大分県玖珠郡 野上村	79.60	0.29	2.25	0.71	0.26	1.58	—	13.52
隠岐 ケイ藻土	島根県周吉郡磯村 箕浦	46.32	0.75	3.60	—	0.27	0.63	0.23	13.54
北海道産 ケイ藻土	北海道渡島郡茅部郡 熊泊村	69.25	1.49	1.17	0.36	0.32	トレース	0.30	14.70
“ “	“ 虻田郡喜茂別村 字比羅岡	84.80	1.74	3.13	0.92	0.59	—	—	6.12
“ “	“ 虻田郡真狩村 字泉	92.00	5.07	0.30	0.60	0.28	—	—	5.97

図2-8 HETPのキャリアー
線速度 u に対する関係



$$A=2\lambda dp, B=2rD_{\text{gas}},$$

$$C=\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{k'}{(1+k')^2} \cdot \frac{d_f^2}{D_{\text{liq}}}$$

品 名	産 地	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca O	Mg O	K ₂ O	N ₂ O	灼熱減量
米 国 産 ケイ藻土 C-22ケイ 藻土煉瓦	Lonpac, Santa Barbara Country, Cal. U. S. A	88.7 8	2.6 8	ト レ ース	1.6 1	1.3 0	—	—	5.5 4
ド イ ツ 産 ケイ藻土 " "	Lünebourger Heide	90.8	3.5	3.1	0.8	0.6	—	—	0.3 0
朝 鮮 甘 浦 ケイ藻土 " "	Oberhole	88.5 2	1.3 2	0.9 3	0.3 0	1.9 0	—	—	12.9 0
		69.2 8	2.6 0	0.4 2	0.4 2	—	—	—	3.1 0
	朝鮮慶尚北道甘浦	92.4 6	0.8 3	0.4 4	0.2 2	—	—	—	—
	" "	83.1 7	3.4 2	0.8 8	0.2 4	0.3 7	—	—	—

らは耐火煉瓦を用いた。耐火煉瓦C-22については王水処理⁴⁸⁾、テーリング防止剤の添加⁴⁸⁾などが述べられ、Dimbat⁴⁹⁾はceliteとC-22を、Johns⁴⁸⁾はcelite、C-22、diceliteの比較からC-22がすぐれていると述べた。また、竹内⁴⁸⁾ 高山⁵⁰⁾もcelite 545とisolite-N-4の性能はほぼ同程度で、C-22はさらにすぐれていると述べた。

担体粒子の大きさも分離に大きな影響をもち、一般に30~100meshが用いられる⁴⁰⁾。担体粒子の粒径が小さいと圧力降下が大きくなり、粒径が大きいと分離能が低下する。それゆえ、多種の炭化水素系を含む汚染空気のように、長大なカラムによる分析ではもっとも有効な担体粒度を選ぶ必要がある。

2-7 固定相液体

固定相液体の役割^{51)~55)}を十分に解明しえる溶液論が確立されておらず、溶液上の溶質の分圧に関する基本法則から取扱われている。その一つは、理想液体溶液に関するRaoultの法則で、G.L.Cでは溶質と溶媒の分子の大きさが違うこと、極性に大きな差異があるから、両者の揮発度も大きく異なり、ほとんど理想液体溶液として取扱えない。

一方、非理想的溶液の挙動の解釈はきわめて困難であるが、G.L.Cでは溶質分子がきわめて低濃度で存在することが多いことから理想的に希薄な、もしくは無限に希薄な溶液として取扱われている。このような溶液では、溶質分子の揮発性(逃散能)が主に溶質-溶媒間の分子間力で決定され、溶質分子間力とはほとんど関係がない。これらのことから、Henryの法則が適用され、線型等温線の仮定が満足される。溶質の凝集力は、(1)溶質と溶媒の永久双極子間力である配向力(Keeson)、(2)一方の永久双極子と他方の誘起双極子間力である誘起力(Deby)、(3)溶質と溶媒分子間の非極性的な力である分散力(London)が働く⁵¹⁾。これらの力は全凝集エネルギーに寄与するもので、その大小は物質によって異なる。Hildebrand⁵⁶⁾はこれらのエネルギーを数式で示し、液体物質に特性的な溶解度パラメーターの概念を導入した。

理想溶液では分配係数kが濃度に無関係で、無限希釈溶液ではほとんど一定に近い。このことは分配等温線にほとんど直線的な部分が存在することを意味し、揮発性溶質が非揮発性溶媒に理想溶液となって溶けていると、Raultの法則から溶液上の溶質の蒸気分圧pは溶液中の溶質のモル分率xと純溶質の蒸気圧p°との積で示される。

$$p = x p^{\circ} \quad \cdots (2-28)$$

二液体が理想溶液をつくるのがめったにないので、上式(式2-28)は、一般には成立しないが、活動度係数 $\gamma(x)$ を導入することによって理想溶液でなくても上式が満たされる。

$$p = \gamma(x) \cdot x \cdot p^{\circ} \quad \cdots (2-29)$$

すなわち、理想溶液では $\gamma=1$ でRaultの法則が成立し、希薄な非理想溶液では $\gamma(x)$ が一定となってHenryの法則に該当する。この補正係数である $\gamma(x)$ は、揮発性成分自体の性質とその成分の存在する状態に依存する。これらのことから、G.Cでカラムを移動する溶質の速度である p/x なる量は、純化合物の蒸気圧と特定溶媒におけるその活動度係数によって定まる。

液体2成分系では、ある範囲で混らない現象とか、2成分の分圧などの挙動が各成分の溶媒度パラメーターから予測しえる。しかし、G.L.Cで溶解度パラメーターは特定の溶質にたいする溶媒を選択する上には役立つが、類似した2個の溶質が分離できるような溶媒を選択するには、溶質の相対揮発度のわずかな差異に頼らなければならない、溶質と溶媒の性質がかけ

はなれているため、溶解度パラメーターだけによる十分な解決はえられない。これらのことから、一定条件下での2成分の分離は沸点の差に関係し、溶液中における理想性からのずれによっても左右されるが、誘起力を生じない固定相液体では、主として沸点を基準にして分離される。分極を起こす液体では沸点と化学的性質が分離に作用する。沸点も性質もともに類似した成分の分離は困難で、両者が異なる成分は両効果が相殺し合わないかぎり分離できる²⁴⁾。成分の分離のための液相選択についての法則性は確立されていないが、Hecker²⁴⁾は揮発性物質と固定相液体を凝集エネルギーの減じる順に5種類に配列した。すなわち、(i)水素結合により3次元網状構造を形成する分子(多価アルコールなど)、(ii)活性な水素原子のみでなく遊離電子を有する陰性原子をもつ分子(脂肪酸など)、(iii)陰性原子は有するが、活性水素原子のない分子(エーテルなど)、(iv)活性な水素原子と、無視しえる程度の双極子を有するだけの分子(クロロホルムなど)、(v)特性基を有しない分子(飽和炭化水素など)で、定性的方針をたてるのに都合がよい。Rohrschneider²⁴⁾は固定相液体の極性を squalane 0%, $\beta\beta$ -dioxypionitrile 100%とした百分率で表わす方法を述べた。またBayer²⁴⁾は同族体間の分離の状況を表わすために選択係数を用いることを提唱した。

さらに、分離成分の分配係数 k が十分違う液体を選択すればよいことから、各固定相液体にたいする各成分の k 値を定量的に推定する研究がなされ、Pierottiら⁵⁷⁾⁵⁸⁾は半実験的模型(Building block method)から k 値を求める方法を提案した。すなわち、2種の溶質についての分離係数 α_{AB} または、相対揮発度はつぎのように示される。

$$\alpha_{AB} = \frac{k_B}{k_A} = \frac{r_A^0 P_A^0}{r_B^0 P_B^0} \quad \cdots (2-30)$$

k_A ; 成分Aの分配係数, k_B ; 成分Bの分配係数
 r_A^0 ; 純溶質Aの活動係数, r_B^0 ; 純溶質Bの活動係数
 P_A^0 ; 純溶質Aの蒸気圧, P_B^0 ; 純溶質Bの蒸気圧

蒸気圧 P^0 は溶質のみに関係する値で、溶質と溶媒の相互に関係するのは r^0 だけであるから、 r^0 が求められれば k_B/k_A , および α_{AB} がえられる。 r^0 についてはScatchard-Hildebrandの関係⁵⁷⁾があるが、特殊な場合にか成り立たない。

Pierottiら⁵⁷⁾⁵⁸⁾は無限希釈度における溶質の微分分子過剰エネルギー、 $RT \log r^0$ を、それぞれ溶質、溶媒面分子の特性基の組合せに関係する項の和とみなし、溶媒 $R'Y$ の中に無限希釈度で溶けている溶質分子 RX を考えた。 R, R' はアルキル基で、 X, X' は感応基で、これらの相互関係を図2-9のように示した。特性基 X, X' 間の相互作用は比較的一定な項で、 R と R' 中の炭素原子数 n, n' である程度の影響をうける。 R, R' 間の作用は n, n' の関数で、 $R-X'$ 間と $R'-X$ 間の相互作用も同様である。このようにして $\log r^0$ を構成する各種の関数を次式で示した。

$$\log r^0 = a + b + c + d + f \quad \cdots (2-31)$$

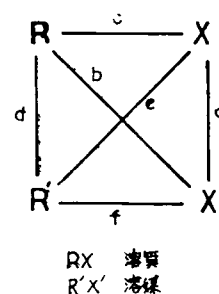
ここで、簡単な $RH, R'H$ の場合を用いると a, b, c, f は0とおくことができ、同族体について R, R' の炭素数をかえ、実験的に d の炭素数についての関係が求められる。かくして他の項を順次につぎのように決定した。

$$a = A, b = Bn/n', c = C/(n+c'), d = D(n-n')^2 \\ f = F/(n'+F')$$

ここで、 n, n' は溶質と溶媒の炭素数で $ABCD F$ は定数である。 D は2種分子間のアルキル基の相互作用で、感応基 XX' には無関係である。 C, c' は溶質の感応基 X のみに関係し、 F, F' および B は溶媒の感応基のみに関係する。 A は溶質、溶媒の両方の感応基に関係する。これらのことから定数の値を実験的に求め、新しいカラムの採用に供した。

固定相液体の担持率は一般に5~30%(wt)で²⁵⁾ある。担持率のカラム効率にたいする影響は複雑であるが、液量を多くするとVan Deemter式(式2-26)の第3項の係数が大きくなり、カラム効率を低下させる。また、液量が少なすぎると担体自身の影響があらわれるが、結局、少量の試料で少量の液体を用いるのが、分離もよく分析時間も短かく有利である。

図2-29 溶質-溶媒間の作用



第3節 ガスクロマトグラフィーによる大気汚染物の測定に関する従来の研究

はじめに

汚染物は大気中で希釈され、きわめて低い濃度で存在し、その検出、同定にガスクロマトグラフィー (G.C.) が利用されたのは、1955年にPattonら⁵⁹⁾が熱伝導度型検出器 (T.C.D.) を用いて微量炭化水素を測定したのが最初とされている。米国では、1956年から鉱山局で大気汚染物のG.C.による測定法の研究が開始された⁶⁰⁾。以来、大気汚染研究の分野で重要な位置を占め、急速に発展、並及して今日に至っている。これにともない分析試料の採取法、標準物質、装置や検出器、分離カラムの開発、ならびに測定条件などについても多く研究され、Nogre¹²⁾、Altshuller⁵⁹⁾、Ettre¹⁰⁾は大気汚染分野への応用について述べた。本節ではG.C.による大気汚染物測定についての従来の研究を略述する。

3-1 標準物質の調整

G.C.では一般に、絶対検量線法²⁴⁾で定量される。大気汚染では検量線の濃度範囲を0.01~1,000 ppmとする必要があり試料量中の汚染物の濃度 (絶対量) が小さすぎて検出器の感度に達しない場合には、大量の試料から成分を濃縮してG.L.C.分析する必要がある。このような場合には、各成分の捕集効率が試料量、捕集装置、温度および試料空気の吸引速度などの条件によって大きく影響される。そこで、純物質からなる混合試料による検量線を作製しておく必要がある。混合試料の調整での誤差は実際の測定成績に大きな影響をもたらすことから、Feinlandら⁶¹⁾は一定容の不活性ガス (N_2 , He) 中に標準ガスを注入して第1段の希釈を行ない、その一定量を第2段のフラスコで同様に希釈する。このような希釈をくり返す段階的希釈法 (static serial dilution) を述べた。この方法は希釈濃度が10~1,000 ppmで、標準物質が安定な成分の場合に便利である。しかし、濃度が0.0001~0.1 ppmと低いと操作がやっかいで、注射器による誤差や容器壁での吸着効果などから誤差が生じやすい。このためにdynamic dilution法⁵⁹⁾が推奨された。これは大容量のステンレスガラス、テフロン製の容器を用い、3段階程度の希釈で所要の濃度とするものである。また、ステンレス容器や金属円筒 (ボンベ) に標準物を入れ、不活性ガスを圧入して圧縮希釈する方法⁶²⁾や不活性ガスの定速流に標準物を流し込むflow dilution^{63) 64)}もある。

大きさが容易に変わる容器を用いた希釈法はもっとも一般的で、通常プラスチックバッグ⁶⁵⁾が用いられる。すなわち、スコッチパック、マイラ、FEP (fluorinated ethylene propylene copolymer)、ポリエチレン、テトロン⁶⁶⁾の袋を用いて0.01~1,000 ppmの標準物が調整されており、成分数の多い標準物の調整にきわめて便利である。また、micro diffusion cell による0.01~1,000 ppmの調整法⁶⁶⁾は構成炭素原子数が6以上の炭化水素や高級芳香族、あるいは極性液体のごとき揮発性の低い標準物質の希釈にきわめて有利であると述べられている⁶³⁾。

3-2 試料の採取および保存性

汚染空気の採取法は対象成分や測定装置によって種々の工夫⁶⁷⁾がなされ、直接に汚染空気を分析装置に導入する場合と、いったん容器に採取したのち分析する場合がある。変質し易い成分や、冷却トラップによる捕集が困難な成分は適当な溶媒で抽出することも多い。G.L.C.では試料成分の濃縮を必要とする場合が多い。

試料の濃縮は一般に、汚染空気を0.5~2.0 l容のガラス容器^{68) 71)}、ステンレス容器や金属円筒⁶⁹⁾、プラスチックバッグ⁷⁰⁾などにいったん採取して行われる。Hendrickson⁷²⁾はステンレス、パイレックスガラスを用いたサンプリング系について述べ、Boggus⁷³⁾らは10.4 in³の円筒を用いた。Houser⁷⁴⁾はサンプリングに金属パイプを使用すると汚染成分がパイプの内壁に析出することを指摘し、とくに自動車排気の場合には150℃以上の加熱が必要であると述べた。SO₂、NO₂、アクロレイン、アルデヒドなどは捕集液を入れたbubbling法⁷⁵⁾による採取が多い。

また、G.L.C.による測定では試料の採取直後に分析されない場合も多い。とくに、実態調査では試料採取から分析まで若干の時間が経過することが多く、試料成分の変質や、容器からのもれなどが懸念される。このためBakerら⁷⁶⁾はマイラー、アルミナイズドマイラー、サラン、スコッチパック、アルミナイズドスコッチパックを用い、30~130 ppm

の ethylene, 1-pentene, 2Me-pentane, benzene, acetone, butyl aldehyde, SO₂, NO₂ を充填して, 17~67時間後の濃度変化を測定し, 炭化水素, acetone, butyl aldehyde の濃度に変化がほとんどみられず, NO₂ および SO₂ の濃度は時間経過につれて大きな減少を示したと述べた。Wilson⁷⁷⁾ は Kel-F バッグは120時間後でも NO₂ (1 ppm) 濃度が安定しているが, ポリエチレンバッグは5時間後で濃度が大幅に減少する。acetone (2~4 ppm) も経時減少がかなり大きいと述べた。小林⁶²⁾ はポリエチレンバッグによる CO₂, SO₂, CO の保存性を測定し30分間程度で実用に供しうると述べた。

Altshuller⁶⁵⁾ はアルミナイスコッチバッグ, マイラーバッグとも試料充填後の2~4時間ではオレフィン (C₄~C₆) 濃度にはほとんど変化がなく, 空気で希釈した自動車排気を充填した場合もオレフィン値が安定している。自動車排気を直接にプラスチック容器に封入すると約18時間後でオレフィンが18~20%減少すると述べた。この現象は気相内のオレフィンの相互反応や窒素酸化物の作用による変化と考えられ, プラスチックバッグの表面吸着によるとは断定できない。さらに比較的不安定なアルデヒド, オゾン, アクロレインは試料採取後の数時間程度の安定性がみとめられたと述べた。Smith⁷⁸⁾ もエンジン排気をマイラーバッグ (14 ft³) に直接封入し, 炭化水素, CO, CO₂ は1時間後でも濃度変化がないと述べ, Conner⁷⁹⁾ はマイラーバッグに SO₂, NO₂, O₃ が 0.5~1.5 ppm, 炭化水素が 7~20 ppm の試料を入れた場合に数日間の保存ができたと述べた。C₁~C₆ 脂肪族炭化水素 (0.01~1 ppm) はプラスチックバッグに数週間の保存で濃度にはほとんど変化がなかった例⁵⁹⁾ や rubber bladder のようなフレキシブル容器を使用した例⁸⁰⁾ もある。

以上のことから, プラスチックバッグはガラスやステンレス容器に比べて取り扱いが簡単などの利点も多いが, 実際の使用では採取する汚染物質の種類に応じた材質を選定する必要がある。

3-3 試料の濃縮

大気汚染では汚染物濃度が比較的高い場合 (100 ppm 程度) と, きわめて低濃度 (1 ppm 以下) の場合があり, 初期の GLC では検知感度からほとんどの場合に濃縮ステップが必要とされた⁵⁹⁾。1960年ごろの FID が開発されるまでは TCD が広く利用され, 通常の検出限界は 100 ppm 程度で, 成分の十分な分離と定量のできる範囲は 500 ppm 以上といわれ³⁴⁾, 大気汚染レベルの測定には非常に大量の汚染空気から濃縮捕集する必要があった。また, GLC に注入される試料量は可及的小量を瞬間的に送入することが必要で, 気体試料では 0.5~5 ml 程度とされている²⁴⁾。荒木³⁴⁾ は TCD による分析での必要試料量は自動車排気ガスおよび煙道ガスでは 1~3 l, 汚染の激しい道路上の空気では 3~5 l, 室内空気では 10 l, 比較的汚染の少ない住宅地域の空気では 100 l 以上であると述べ, 検出器による大略の採取空気量の目安⁸⁾ を表 2-3 のように示した。

表 2-3 採取空気量の目安⁸⁾

試料成分の濃縮は, 通常つぎの3通り

に分けられる。(1) 適当な溶媒を入れた bubbler, またはインピンジャーを通過させて捕集する。(2) 冷却剤中に浸けた中空トラップを通して捕集する。

(3) 固体吸着剤, またはカラム充填剤を

詰めて冷却したトラップを通して捕集する。

	採取量	熱伝導度セル (TCD)	水素焰イオン化セル (FID)
濃縮なし	1~2 ml	1,000 ppm	10 ppm
採取びん	10~20 l	0.1 ppm	1 ppb
大量濃縮	1000 l 以上	1 ppb	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵ ppb

溶媒による抽出捕集法は特定成分の捕集に有効であるが, 大気汚染物の測定に利用されることは少ない。この方法では溶媒の大きなピークで目的成分のピークがマスクされるため, 溶媒と大きく異なる保持時間をもつ成分の分析には有効であるが, 一般の大気汚染物の測定には不適当である。この方法の測定例としては, Cave⁵⁹⁾ が Pulp Mills からの臭気成分を ethyl benzene による bubbler で捕集 (-78°C) し dimethyl sulfide, ethyl mercaptane を測定した。また, 庄司⁸¹⁾ もし尿処理場の悪臭成分を捕集し, amine 類, mercaptane 類, indol 類を測定した。

液体酸素 (-183°C), 液体窒素 (-196°C) ならびに液体空気に浸けた中空のトラップを通して, 微量の汚染物を凝縮捕集する方法は MS で用いられ, Shepherd⁷¹⁾ はロスアンゼルスの大気 (約 200 l) を液体酸素で冷却した

ラップに通し、各 1.2 ppm の ethylene, propylene, isobutylene, 1,3-butadiene, n-hexane, benzene, 0.5 ppm のオゾンと同定した。同様の測定例は Magill ら⁴⁾も述べ、Boggus ら⁷³⁾はガラスウールを詰めたトラップによる捕集を述べた。Hughes ら⁸²⁾は 10 ppb のアセチレンを捕集する冷却管を述べ、Quiram ら⁷⁰⁾はガラスウールを詰めたトラップ(液体窒素)は揮発性成分の捕集が効果的で、かつ凝縮成分の分離カラムへの移送が容易であると述べた。また、中空、不活性物を詰めたトラップは液体窒素温度で、methane, ethylene 30 ppm, ethane 10 ppm, acetylene 0.2 ppm 以下が捕集できず、液体窒素温度でも ethylene の 0.5 ppm 以下が捕集できないとの主張³⁴⁾もある。

GLC のカラム充填剤をトラップに詰めて濃縮捕集する方法も用いられ、Weet ら⁸³⁾は活性炭トラップ(0℃)で、10~50 ppm の benzene (20ℓ)が70~90%の捕集効率を示し、C₂~C₉炭化水素の捕集もドライアイス-アセトン温度(-78.5℃)で有効であると述べた。活性炭トラップの液体アンモニア温度(-33.4℃)で、3~15 ppm の methane が捕集され⁵⁹⁾、Truk⁸⁴⁾は活性炭サンプラーによる長時間の大気汚染物の捕集を提唱し、Brominated charcoal による ethylene の捕集例⁸⁵⁾もある。しかし、活性炭と反応する酸化物(NO₂, O₃など)の捕集には不適当で、SO₂, H₂S, methyl mercaptane などのはかり大きな誤差を生じ、極生分子の脱着には200℃以上の加熱が必要であるなどの欠点が指摘⁵⁹⁾されている。Truk⁸⁵⁾は活性炭からの脱着や捕集成分の再現性を述べた。ロスアンゼルスの大気汚染防止局(APCB)⁸³⁾の活性炭を用いた測定法と全く同じ方法を加藤⁸⁶⁾が述べた。

Hughes ら⁷⁰⁾、Cropper ら⁸⁷⁾、Elkins ら⁸⁸⁾はシリカゲルトラップについて述べた。Bellar ら⁸⁹⁾はシリカゲルトラップ(ドライアイス-アセトン)によるC₁~C₆成分(パラフィン、オレフィン)の捕集で、オレフィンの isomerization を最小にするには脱着を150℃以下が必要で、acetylene と ethylene はシリカゲルでよく吸着され、1 ppm 以上であれば脱着のための加熱は50℃程度でよく、1 ppm 以下ではシリカゲルで捕集できない。1 ppm 以下のときはトラップを通る空気量が10ℓ以上となり、いったん吸着された ethane や ethylene がトラップを通る空気中に逃げ去ると述べた⁹⁰⁾。シリカゲルによるH₂S, SO₂, methyl mercaptane の吸着を-65℃で行なった例⁵⁹⁾や、炭化水素の塩化物や芳香族成分の吸着によいともいわれる⁹⁰⁾。

吸着剤を詰めたトラップによる大気汚染物の濃縮捕集は、高沸点成分の脱着速度が小さく、成分ピークのテーリングが大きくなって隣接ピークがマスクされる。そのうえ、大気中の水分や炭酸ガスで吸着剤の性能が急速に飽和低下するなどの問題点が多い⁹¹⁾。

一方、カラム充填剤を詰めたトラップは冷却凝縮と担体の保持能とを利用するもので、トラップの充填剤には fire brick C-22, chromosorb P および celite などが使用される。荒木ら³⁴⁾は高沸点大気汚染成分⁹¹⁾の捕集トラップの担体にC-22とcelite 408がもっとも有効であると述べた。Eggertsen ら⁶⁹⁾は40% (wt) dimethyl-sulfolane (firebrick C-22)を詰めた12in のU字型トラップを液体窒素で冷却してC₂~C₉炭化水素を捕集し、ハイウェイ、トンネル内で合計5.59 ppm (wt)、都市大気から合計1.95 ppm (wt)を検出した。Neligan⁹²⁾は長さ50cmのU字パイプにswagelokおよび20% (wt) polyethylene glycol P400、(chromosorb)を詰めたトラップで、ロスアンゼルスの大気から28個の炭化水素を検出した。著者ら⁹³⁾(本章第4節)も実用的なトラップをえるために捕集効率について検討した。

従来の冷却トラップは20ℓ程度の空気からの捕集には効果的であるが、さらに大量の空気量からの捕集には低分子成分の逃散が生じやすい⁵⁹⁾。また、カラム充填剤を詰めたトラップによる含酸素炭化水素や高分子成分の捕集の研究は少ない。自動車排気成分の捕集では、トラップ充填剤と窒素酸化物、オレフィンの間に不可逆的反応が起こり、オレフィン濃度が増加することも考えられるが、このような原因による誤差は測定結果にさほどの影響を示さず、NO₂はトラップ充填剤に不可逆的に吸着される⁵⁹⁾と述べられている。Cropper ら⁸⁷⁾はsilicone elastomerおよびpolyethylene glycol (celite)を詰めたトラップで極性の大きな高分子成分の捕集を行なった。菅野ら⁹⁴⁾は10~20ℓのC-22を詰めた濃縮管(3本連結)に成分をいったん捕集したのち、U字型の小トラップに移しかえる方法が大気汚染レベルの測定にもっとも有効であると述べ、これにもとずく市販製品もみられるが、この方法では捕集成分の再濃縮操作が煩雑で、しかもこの間に逸脱する成分量も大きく実用に供しえない。

一般に、トラップによる大気汚染物の冷却捕集には、大気中の炭酸ガスや水分による捕集効率の低下や分析妨害（分離能の低下、ピークのマスキング）、さらには凝結成分の温度上昇による膨張によるトラップの破壊が生じやすい。大気試料中の炭酸ガスは常在成分として300ppm以上が存在し、道路上の大気中で850ppm、室内空気中は240ppmで、自動車排気には10～12%と非常に多量である。また、大気的水分も多く、ロスアンゼルススモッグ時の大気中の水分は1.06%(wt)⁹⁴⁾で、わが国は高湿度の日が多く、水分量はさらに多いものと考えられ、濃縮トラップ法では水分の除去は必須となる。炭酸ガスや水分の除去は濃縮過程の前での除去。濃縮過程で分別、GLCで分離する方法などが採られ、実際の操作では炭酸ガスはソーダライム、アスカライト管で除去し、水分は脱水管を通して除去されている。この場合に除去剤による試料成分の吸着、除去が考えられる。荒木ら³⁴⁾は各種の乾燥剤による回収率を測定し、炭化水素類は数ppb程度でもほとんど影響がなく、極性物質（含酸素、含窒素化合物）は若干の妨害がみられ、脱水剤のなかでは無水炭酸カリがもっとも無難であると述べた。その後、FIDが開発され、試料中の水分および炭酸ガスによる影響がほとんどなく、大気汚染レベルの測定に有力な方法として広く応用されている。Altshullerら⁹⁵⁾はロスアンゼルスの大気分析にFIDを用い、carbowax 1540（fire-brick C-22）を詰めたトラップを併用して、C₂～C₈炭化水素の検出感度が0.001～0.01ppmまで高められると述べ、Bellerら⁹⁶⁾は10%(wt) carbowaxトラップによる捕集とFIDでppb程度まで検出できると述べた。

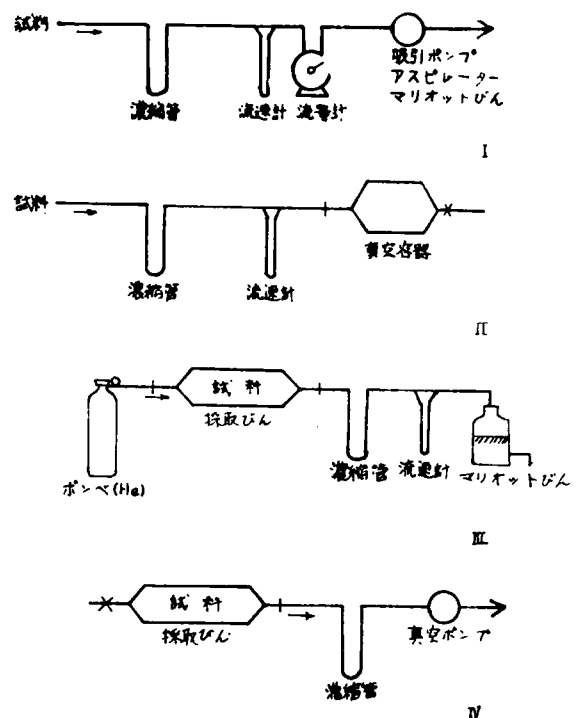
大気汚染物の濃縮操作は試料空気をいったん容器に採取したのち、濃縮系に接続する場合と、直接に汚染空気をトラップを通して吸引する場合とに分けられ、前者は自動車排気のような比較的高濃度の試料や汚染源に用いられ、後者は汚染成分濃度が低い場合に用いられる。実際の試料濃縮系のフローシートは図2-10のように分けられる。型式ⅠおよびⅡは直接採取法で、型式ⅢおよびⅣは試料空気をいったん容器に採取したのち濃縮する方法である。試料容器を濃縮系に接続し、トラップを通して吸引するか、あるいは不活性ガス（He, H₂, N₂）ボンベに接続してガス流（0.5～1.0ℓ/min）で試料を追いつ出す。不活性ガス中の不純物はシリカゲル管で除去する。真空ポンプによる吸引方式では容器内の真空度が変化するために濃縮条件が不安定となりやすく、不活性ガスによる追いつ出し方式では試料の希釈効果により、トラップへの送付試料量が定まり難いなどの問題点がみられ、本章（第4節）ではこの点についても検討した。

3-4 検 出 器

大気汚染研究に用いられる主要な検出器は熱伝導度型（TCD）、サーミスター型、水素焰イオン化型（FID）、およびエレクトロンキャプチャー型（ECD）で、FIDが大気汚染物の測定に用いられたのは1960年頃からである。サーミスター型の検出感度は約100ppm¹²⁾で、大気汚染物の直接測定は困難で、濃縮トラップ法を併用しなければ、自動車排気のような比較的高濃度の炭化水素でさえ、十分な分析はできない。また、この型の検出器は温度、圧力などの操作条件を最適にすることで検出感度を数倍向上させうるが、至適条件の保持が容易でない⁵⁹⁾。炭化水素を触媒管内で燃焼しIRによるCO₂の測定⁹⁷⁾とGC（TCD）の併用で、最大感度が1ppm程度であるとの報告もある。

Farringtonら⁵⁹⁾のelectron impact ionization検出器も大気汚染物の測定に使用され、16.4ℓの

図 2-10 試料採取系統図



大気からのトラップ法で1~5 ppbの炭化水素が検出された。この場合には水分と大気成分(窒素, 酸素)を完全に除去する必要がある。Lovelock¹²⁾が開発したアルゴン型イオン化検出器はmethaneやethaneの感応が大きく減少し、 N_2 , O_2 , CO_2 の検出感度が大幅に減少するから実用的ではない。Hurn⁵⁹⁾はアルゴン型をサーミスター型に比べて、高分子量の芳香族には約2倍の検出感度をもつが、 $C_6 \sim C_{10}$ 芳香族と脂肪族飽和炭化水素の感応変動がきわめて大きいと指摘した。アルゴン型検出器で自動車排気の炭化水素酸化物を測定した例⁹⁸⁾もあるが、この場合にも水分の除去が問題となった。また、Kuley⁹⁹⁾は β 線イオン化検出器で大気中の炭化水素0.2~0.08 ppm, FIDで0.04~3.007 ppmの測定が可能であると述べた。

FIDは大気汚染物測定でもっとも有力な検出器として広く利用されている。この型の検出器のもっとも大きな利点¹⁰⁰⁾は、水分や CO_2 、無機成分の感応がほとんどなく、試料から除去する必要がないこと、有機化合物の検出感度が非常に高く、大気汚染レベルの多くの成分が直接分析しうることである。しかし、含酸素炭化水素や光化学反応生成物の測定には未だ不十分な点も多い⁵⁹⁾。

FIDの原理から開発されたフレイムイオン化分析計(全炭化水素分析計FIA)^{101) 102)}は全炭化水素、あるいは全有機成分のモニター装置として実用化されたが、実際には感応がやや低く、formaldehyde, formic acidのような成分の共存によって感応が大きく低下する。また、炭化水素の構成炭素原子あたりの感応も必ずしも一定でなく、組成の変動が大きい試料の測定には検討を要する点が多い⁵⁹⁾。

ECDは脂肪族炭化水素やalkylbenzeneの感度が全くなく、大気汚染研究に好都合な場合も多い。Williams⁵⁹⁾は低分子のchlorinated hydrocarbons, mercaptaneやdisulfideを分析し、Darley¹⁰³⁾はalkylnitratesやperoxy acrylnitrileを大気中から分離同定した。また、大気内の光化学反応系からalkylnitrateやbiacetylの検出も述べられている⁵⁹⁾。

3-5 分離カラム

大気の汚染物や自動車排気成分の範囲はきわめて広く、これらに含まれる全成分を単一の分離カラムで分析することはほとんど不可能である。たとえば、自動車排気の $C_1 \sim C_{11}$ 炭化水素には少なくとも3~4段のGLC分析が必要とされている⁵⁹⁾。それでも高級オレフィン、高級芳香族などは完全分析から程遠く、高分子範囲の測定はback flushing法を抽出法と組み合わせている⁵⁹⁾。実際の炭化水素分析の多くは、 $C_1 \sim C_6$ 成分が主たるもので、汚染成分のモニターとして無機ガス成分のみが測定されている場合もある⁵⁹⁾。含酸素炭化水素の分析にはColorimetric法も利用されるが、多段クロマトグラフィー法で各段の分離カラムの組合わせを考慮することによって、汚染物の測定範囲を拡げることができる。Hurn⁵⁹⁾がsilicone DC 550, benzylether, dibutyl-n-maleate (fire-brick C-22)を各段に使用し、Neligan¹⁰⁴⁾は $\beta\beta$ -oxypropionitrile-polyethylene glycol (chromosorb)を第1段に、polyethylene glycol 400を第2段とし、カラムの温度と長さを変えて自動車排気を分析した。Hughes^{98) 105)}は第1段にglycerolカラムを用いて沸点の等しい炭化水素から酸化物をおくらせ、第2段には極性カラム(polyethylene glycol)を置いて炭化水素と酸素化合物を分離した。この場合に低沸点酸化物の前にn-pentaneまでの炭化水素が溶出した。第3段にはstearic acidで処理した非極性siliconeカラムを置き脂肪酸の分析と、一般の化合物の測定を行なった。Ford⁵⁹⁾はdibutyl-n-maleate (fire brick C-22)を全3段に用いた測定例を述べ、多段法ではethaneとethylene, C_6 , C_7 のパラフィンとオレフィン, i-butaneと1-butene, p-xyleneとm-xyleneの分離が不十分なものが多い。また、Feinland⁶¹⁾はdimethyl-sulfolane (20%)とdiisodecyl-phthalate (10%)カラムを使用して $C_1 \sim C_6$ 炭化水素を測定した。

大気汚染物の単一カラムによる分析例はある範囲の成分群の測定を意図したもので、West⁸³⁾は35% (wt) carbowax 1500 (silocel 30~50 mesh), m-cresyl phosphate, glycerol di-n-butyl phthalate, halowax 1007, di-(2-ethylhexyl phthalate)による効果を検討し、carbowax 1500がもっとも有利であると述べ、dioctyl phthalateカラムによる自動車排気の実行を行なった。Eggertsen⁶⁹⁾は40% (wt) dimethyl-sulfolane (fire brick C-22, 25 ft

0℃) カラムで都市大気とハイウェイ・トンネル内の空気を分析し, $C_2 \sim C_8$ 炭化水素を同定した。Altshuller⁶³⁾ は 10% carbowax 1540 ($C-22$, 50~60 mesh, 4m, 32℃) カラムで自動車排気から $C_6 \sim C_{10}$ 炭化水素を検出し (1~10 ppm), 大気サンプルから 0.05~5 ppm の芳香族成分を検出した。さらに, silicagel カラムと FID で $C_2 \sim C_4$ 炭化水素の 0.001 ppm までの検出が可能であると述べた。Farrington⁵⁹⁾ は di-n-butyl phthalate カラムを, 庄司⁹³⁾ は dimethyl-sulfolane カラムを使用して都市大気の実験例を述べており, 加藤⁸⁶⁾ も同じ方法を採用した。Linnelle¹⁰⁶⁾ は 40% (wt) dimethyl-sulfolane (fire brick $C-22$, 25 ft, 室温) カラムでディーゼル排気を分析し, $C_2 \sim C_8$ 炭化水素の各 0.05~27.4 ppm を検出した。菅野⁴³⁾ は tri-cresyl phosphate カラムで都市大気を実験した。また, 低級炭化水素の分離に silicagel, alumina, activated charcoal および molecular sieve カラムも多く使用されている^{107)~109)}。silicagel カラムは ethane と ethylene の分離が容易であるが, $C_4 \sim C_8$ オレフィンの分離がよくない⁸⁹⁾。さらに, 分離カラムの固定相液体の蒸気などによる back ground noise が大きな妨害を示すために dimethyl sulfolane のような高蒸気圧の液相には, カラムと検出器の間に冷却トラップ (1.3 mℓ) を挿入して液相蒸気を除去する方法⁶¹⁾ が採られている。

大量の試料から微量成分の検出に大口径 open tubular カラムも使用されており⁸⁰⁾, McEween⁵⁹⁾, Schwartz¹¹⁰⁾ は昇温小口径 open tubular カラムで $C_5 \sim C_8$ 脂肪族炭化水素を実験した。大口径カラムや毛细管カラムの実用への応用には, 注入試料量などについてさらに検討を要する点も多い⁸⁰⁾。

3-6 定性および定量

GC での成分の定性は保持容量, または相対保持容量にもとずいてなされ²⁴⁾, 大気汚染物の場合⁵⁹⁾でも $C_1 \sim C_8$ 炭化水素および $C_6 \sim C_8$ 芳香族炭化水素は保持容量値による定性が十分可能である。高分子炭化水素の同定は MS を併用する場合も多く, Hughes⁶⁹⁾, Ellis¹¹¹⁾ は自動車排気の実験物を MS と IR で同定した。subtractive 法⁵⁹⁾ はオレフィンまたは芳香族からパラフィンを同定するのに有効で, 紫外照射時の炭化水素の光化学酸化物の定性に利用される。

大気汚染物の分析ではあらかじめ調整された検量線から定性, 定量される場合がほとんどで, クロマトグラム上の成分ピークは半値幅法²⁴⁾ (ピーク高値 $\times 1/2$ ピーク幅値) で定量される。しかし, 保持時間のきわめて短い成分のピーク幅は狭く, 半値幅法よりもピーク高値にもとずく定量法が高い測定精度を示すことが多い。Altshuller⁶³⁾ は芳香族炭化水素からなる合成汚染大気を調整し, ピーク面積, ピーク高値による定量誤差についての検討から半値幅法による誤差はきわめて小さいと述べた。また, 著者⁸¹⁾ は試料の注入量とピーク高値とピーク面積値の関係について検討し, カラム長が 2 m (内径 5 mm) あれば液体試料の 2~4 $\mu\ell$ で, 面積値とピーク高値による定量に大差がないことを述べた。しかし, 実際の測定では近接したピークが重複することも多く, ピーク最高位置のずれ, ピーク高の相加などが生じるから, このような場合の有効な計測, ならびに算定法についての検討がより正確な測定のために必要であり, これについての研究はほとんどない。

第4節 低濃度の低級炭化水素の捕集に関する実験的研究

4-1 研究目的

1952年に Haagen-Smit¹¹¹⁾ がロスアンゼルススモッグの発生機構を明らかにした。すなわち, 炭化水素, 窒素酸化物, 亜硫酸ガスなどの光化学作用で生成するオゾン, オキシダント, エアロゾルがスモッグ特有の障害を呈すると述べた。以来, 汚染物の測定, 汚染源の調査, 光化学反応機構の研究がなされ^{112) 113)}, 産業排気, とくに石油産業廃棄物¹¹⁴⁾とともに, 炭化水素の排出源として自動車排気が大きくクローズアップされた^{115) 116)}。カリフォルニアでは産業排気の排出規制についで自動車排気の排出規制が1960年から実施された¹¹⁷⁾。

種々の大気汚染物質の中なかでも光化学スモッグにもっとも関与する¹¹¹⁾炭化水素と、その酸化物は石油系燃料の燃焼排気として放出され、その種類はきわめて広く、排出量も大きく異なる。これらのことから、大気の炭化水素の濃度についての正確な資料はきわめて少ない。すでに述べたようにガスクロマトグラフィ（GC）のこの分野への導入によって多くの問題が解決されつつあるが、大気汚染レベルの炭化水素はppb～ppmオーダーで、高感度検出器を用いても直接に汚染空気から測定できる場合が少ない。このため、多量の汚染空気から炭化水素を少量の容積（気体試料0.5～2mℓ）に濃縮したのち、GCに注入、分析される。とくに、熱伝導度型検出器（TCD）は感度が低いから大量の空気を処理する必要がある¹¹⁸⁾、本章第3節で述べた濃縮捕集法が採られている。しかし、これまでの冷却トラップはトラップの大きさ、充填物、捕集条件についてのもっとも至適な条件が明らかでない。そこで、低級炭化水素の分離がよいdimethyl sulfolane カラム⁵⁹⁾119)を使用する場合のトラップの長さ、充填剤の粒度、トラップの径、吸引条件、さらにはガラスウールトラップについて若干の測定⁹³⁾120)を行ない、汚染空気からの捕集方法について検討した。

4-2 研究 方 法

4-2-1 装置ならびに方法

本実験にはTCDを備えたガスクロマトグラフ（コタキGD-2型、検出器電流、80mA、記録計、2mV/250mmフルスケール、チャート速度、10mm/min）を使用した。キャリアガスにはヘリウムを用い、流速はカラム出口で石けん膜流量計で測定した。分離カラムの固定相液体にはFredericksら¹¹⁹⁾、Eggertsenら⁶⁹⁾が低級炭化水素の分離に有利であると述べたdimethyl-sulfolaneを用いた。（構造式は図2-11）²⁵⁾。固定相担体のfire-brick C-22は水処理⁴⁸⁾を施し、重量で40%の割合に固定相液体を担持させてカラム充填剤とした。分離カラムは内径4mm、長さ10mのステンレスパイプで、カラム温度は氷水によって0℃とした。試料の捕集は各種のトラップを使用し、液体窒素槽で冷却して行なった。

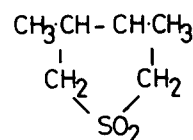
試料の濃縮捕集は液体窒素に浸けたトラップの一端に、あらかじめ一定濃度の炭化水素を入れた容器をつなぎ、他端の真空ポンプによって吸引した。試料は耐圧ガラスびん（容量5～40ℓ）に入れ、試料容器とトラップ、およびトラップと真空ポンプの間に水銀マノメーターを挿入し、容器内の真空度の変化から試料の吸引量を求めた。試料中の水分ならびに炭酸ガスを除去するために、アスカライト吸収管を濃縮トラップの入口側につないだ実験のフローシートは図2-12に示す。

試料成分の捕集を終えたトラップは液体窒素槽に浸けたままで、切り替えコックの操作によってトラップ中の不活性ガスをキャリアガスと置換したのち、キャリアガスの流量を100mℓ/minに調整した。ついで、捕集トラップを氷水中に移した。凝縮捕集された成分は温度上昇によって急速に気化し、キャリアガスとともに分離カラムへ移行する。クロマトグラム上に現われた各成分ピークについては常法⁹⁾24)に従って定性、定量した。

4-2-2 標準物質

低級炭化水素は沸点が低く、氷水（0℃）、液体アンモニア（-33℃）、ドライアイス-アセトン（-78℃）などの冷媒で凝縮しないものが多く、汚染大気の測定においてこれらの低級成分の捕集が問題点となる。C₅、あるいはそれ以

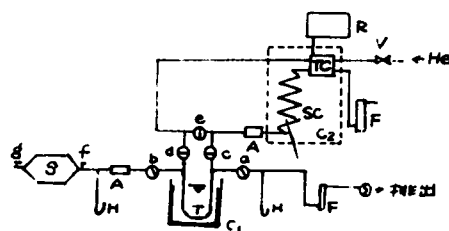
図2-11 dimethyl-sulfolane



2,4-dimethyl thiolane-1,1-dioxide

図2-12 実験フローシート

S: サンプルタンク
T: トラップカラム
SC: 分離カラム
TC: 熱伝導度検出器
R: レコーダー
C₁: ジュワー・ピル（液体窒素タンク）
C₂: サーモスタット
a, b, c, d, e: ニガコック
H: マノメーター
A: アスカライト管
F: 流量計
V: 真空ポンプバルブ
P: 真空ポンプ
f, g: ストップコック



上の炭素数からなる炭化水素や芳香族の沸点は気温以上のものがほとんどで、凝縮は容易である。そこで、低級炭化水素の定濃度試料を調整して捕集効率を検討した。すなわち、脂肪族系炭化水素8種 (ethane, C_2H_6 , B.P. $-93^{\circ}C$, propane, C_3H_8 , B.P. $-45^{\circ}C$, n-butane, C_4H_{10} , B.P. $+1^{\circ}C$, iso-butane, C_4H_{10} , B.P. $-10.2^{\circ}C$, n-pentane, C_5H_{12} , B.P. $36^{\circ}C$, iso-pentane, C_5H_{12} , B.P. $31^{\circ}C$, n-hexane, C_6H_{14} , B.P. $69^{\circ}C$, iso-hexane, C_6H_{14} , B.P. $64^{\circ}C$)、オレフィン系炭化水素2種 (ethylene, C_2H_4 , B.P. $-102^{\circ}C$, propylene, C_3H_6 , B.P. $-50^{\circ}C$) を乾燥空気で希釈して標準試料とした。

4-2-3 実験条件

捕集トラップの各成分にたいする効果をつぎに挙げる条件について測定した。

- (1) 試料の吸引捕集時における試料タンク内の真空度と捕集効果
- (2) 冷却トラップの充填剤の粒度による差異
- (3) 冷却トラップの長さおよび内径による差異
- (4) 大量の試料空気の処理を目的として作製したガラスウールトラップによる捕集効果

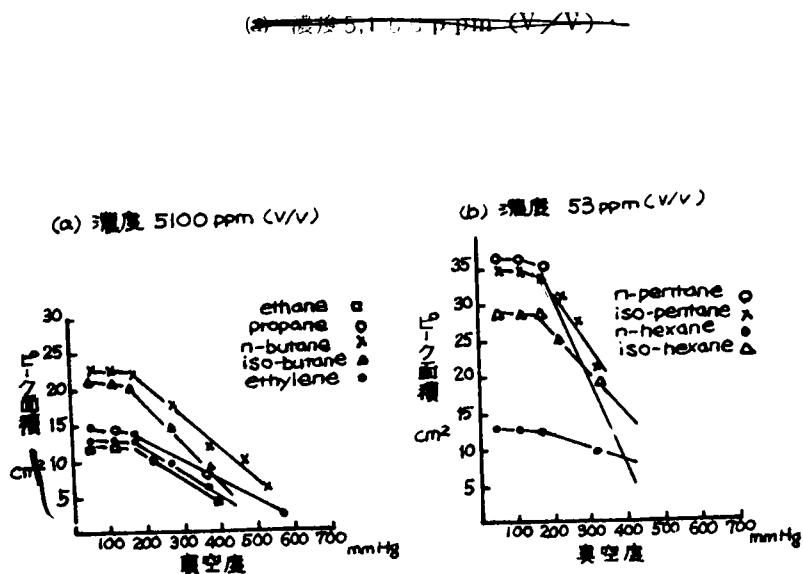
4-3 測定成績ならびに考察

4-3-1 真空度による捕集効果の差異

捕集トラップに内径4mm、長さ30cmのU字型銅パイプ(内厚1mm)を使用した。トラップ充填剤の固定相液体にはdimethyl-sulfolaneを用い、固定相担体にはfire brick C-22(20~30 mesh, 担持率40%重量)を使用した。ガラス容器(1.7ℓ容)に53ppm(V/V)と5,100ppm(V/V)に調整した試料を封入した。捕集トラップへの流路のコックを開き、真空ポンプによりトラップを通して吸引し各成分を冷却捕集した。トラップは液体窒素で冷却し、真空ポンプによる吸引は試料容器内の真空度にもとずいて560, 510, 460, 410, 360, 260, 160, 110, 60mmHgの9段階とした。それぞれの真空度で捕集したトラップをGLCに接続して捕集量を測定した。

捕集時の真空度とクロマトグラムのピーク面積との関係を、各標準物質について図2-13に示す。すなわち、捕集時の真空度が560mmHgから160mmHgまで順次に高い真空度になるにつれて、各成分の捕集量を示すピーク面積値は大きく増加する。成分によってピーク面積値の増加傾向は若干異なるが、 $C_5 \sim C_6$ 成分は $C_2 \sim C_4$ 成分に比べて増加勾配がやや大きい。試料容器の真空度が160mmHgから60mmHgに達すると、各成分の捕集量はそれぞれについてほぼ一定の値となり、この値は本実験に使用したトラップ容量にたいする捕集限界値を示すものとみられる。Eggertsenら⁶⁹⁾は真空ポンプによるトラップの低温吸引捕集においては試料容器の内圧を測り、試料容器の真空度を2/3(約250mmHg)を捕集トラップ中に吸引通過させてGLC分析を行ない、得られた各成分の値に真空度の逆数、すなわち

図2-13 捕集時の真空度による捕集効率の差異



2/3を乗じて測定成績とすればよいと述べた。しかし、上記の成績から各成分の捕集量は真空度の違いで大きく異なり、真空度が250mmHgとした場合の捕集量が成分量の2/3を示すとはかぎらない。これらのことから、実際には捕集量がほぼ一定を示す160mmHgを越える真空度で吸引捕集されるべきである。

本実験では、各炭化水素の濃度を同一にして捕集したが、クロマトグラム上に現れた成分のピーク面積値は図2-13にみられるように、同じ捕集条件（真空度）で同じ値を示さない。各炭化水素成分の蒸気圧は表2-4¹²¹⁾に示すとおり、分子量の増大につれて高くなる。

表2-4 蒸気圧 100°F¹²¹⁾

したがって、液体窒素温度（-196℃）でのピーク面積値に相当する凝縮量は、成分の沸点が低いもの（C数の少ないもの）ほど少なくなり、本測定からもこのことがみとめられる。また、TCDの炭化水素にたいする相対モル感度は表2-5²⁸⁾に示すとおり、分子量の増大につれて増加する傾向がある。このように低温による凝縮量とモル感度の傾向は炭化水素の分子量の増大につれて全く逆の傾向を示

成 分	Kg/cm ²	成 分	Kg/cm ²
methane		ethylene	
ethane		propylene	15.92
propane	13.4	butene-1	4.43
n-butane	3.63	cis-butene-2	3.20
i-butane	5.08	trans-butene-2	3.50
n-pentane	1.09	i-butane	4.46
i-pentane	1.44	pentene-1	1.35
n-hexane	0.35	cis-pentene-2	1.1
2Me hexane	0.46	cis-hexene-1	0.40
3Me hexane	0.43	hexene-2	0.33
propadiene	11.8	acetylene	
butadiene 1.3	4.2	methy acetylene	5.2
cis-pentadiene 1.3	0.84	ethyl acetylene	2.7

すことから、同一条件で捕集された成分のピーク面積値が成分によって大きな異なりを示すものと考えられ、実際に汚染空気成分の測定には、捕集条件を厳密とした各成分にたいする検量線の調整が必要である。

表2-5 ヘリウムをキャリアガスとした場合の²⁸⁾
相対モル感度（ベンゼン=100）

種別	化 合 物	相対感度	種別	化 合 物	相対感度
ロー バラ フィン	メタン	36	ナ フ テ ン	メチルシクロヘキサン	120
	エタン	51		1,1-ジメチルシクロヘキサン	141
	プロパン	65		1,4-ジメチルシクロヘキサン（シス）	146
	ブタン	85		エチルシクロヘキサン	145
	ペンタン	105	オ レ フ イ ン	エチレン	48
	ヘキサン	123		プロピレン	63
	ヘプタン	143		イソブテン	82
	オクタン	160		1-ブテン	81
	ノナン	177		trans-2-ブテン	85
	デカン	199		cis-2-ブテン	87
枝 わ か れ バ ラ フ イ ン	イソブタン	82		1,3-ブタジエン	80
	ネオペンタン	99	芳 香 族	ベンゼン	100
	2,2-ジメチルブタン	116		トルエン	116
	2,3-ジメチルブタン	116		エチルベンゼン	129
	2-メチルペンタン	120		o-キシレン	130
	3-メチルペンタン	119		m-キシレン	131
	2,2-ジメチルペンタン	133		p-キシレン	131
	2,4-ジメチルペンタン	129		イソプロピルベンゼン	142
	2,2,3-トリメチルブタン	129		n-プロピルベンゼン	145
	2,3-ジメチルペンタン	135		p-エチルトルエン	150
	2-メチルヘキサン	136		1,2,4-トリメチルベンゼン	150
ナ フ テ ン	3-メチルヘキサン	133	ケ ト ン	1,2,5-トリメチルベンゼン	149
	3-エチルペンタン	131		sec-ブチルベンゼン	158
	2,2,4-トリメチルペンタン	147		アセトン	86
	シクロペンタン	97		メチルエチルケトン	98
	メチルシクロペンタン	115		ジエチルケトン	110
	1,1-ジメチルシクロペンタン	124	1 アル ル コ	3,3-ジメチル-2-ブタノン	118
	エチルシクロペンタン	126		メチル-n-アミルケトン	133
	1,2,4-トリメチルシクロペンタン（シス,トランス,シス）	136		メチル-n-ヘキシルケトン	147
	1,2,4-トリメチルシクロペンタン（シス,シス,トランス）	143		水	21
	シクロヘキサン	114		メタノール	55

4-3-2 トラップの充填剤の粒度による効果

捕集トラップを内径4mm、長さ30cmとし、トラップ充填剤の固定相液体に40% (wt) dimethyl-sulfolane を用い、固定相担体fire brick C-22 の粒度を10-20、20-30、30-40、40-60メッシュの4段階に変えた場合の炭化水素の捕集効果の差異を測定した。標準物質の濃度は $C_2 \sim C_5$ 成分は3,000ppm (V/V)、 $C_6 \sim C_8$ 成分は30ppm (V/V)とした。この場合の吸引捕集の条件は前述のことから、160mmHgの真空度で行なった。

トラップ充填剤の粒度の違いによる成分ピークの面積値は表2-6に示す。各成分ともfire-brick C-22の粒

表2-6 トラップの充填剤の粒度による捕集効率の差異

a) 濃度 3,000ppm (V/V)
ピーク面積値 (cm)

粒 度 (mesh)	ethane	propene	n-butane	iso-butane	ethylene	propylene
10-20	8.16	10.36	11.40	11.25	8.33	7.84
20-30	8.34	11.78	12.40	11.93	8.89	9.03
30-40	7.26	8.28	8.28	11.25	8.47	8.61
40-60	7.02	7.86	7.80	10.58	7.98	7.98

b) 濃度 30ppm (V/V)
ピーク面積値 (cm)

粒 度 (mesh)	n-pentane	n-hexane	iso-pentane	iso-hexane
10-20	12.00	5.28	13.44	16.64
20-30	18.30	5.55	14.52	22.30
30-40	8.82	4.92	12.60	10.92
40-60	5.59	3.84	12.84	10.66

度が20-30メッシュのときにもっとも大きいピーク面積値を示し、10-20メッシュがこれについて大きく、30-40メッシュおよび40-60メッシュのときはかなり低い値を示す。

Eggertsen⁶⁹⁾はfire-brick C-22の粒度20-30メッシュをトラップ充填剤の固定相担体を使用した場合の捕集が、冷媒の冷却効果と担体の保持効果の両者によるものであると述べた。菅野⁹⁴⁾は低温濃縮トラップの捕集作用は低温における吸着(保持)効果のみによるもので、冷却による成分の凝縮効果はほとんど考えられないと述べた。トラップのサイズおよびトラップを通過する試料の流速を一定にした場合に、充填剤の粒度が大きくなる(粒径が小さくなる)と、トラップ内の空隙容積は大きく減少してトラップを流通する空気流の線速度は著しく増大し、fire-brick C-22の熱伝導率係数は流動空気の値よりも小さい²⁴⁾から液体窒素によるトラップ外からの冷却効果は粒度が増大すれば低下すると考えられる。一方、粒径が小さくなることによって充填剤の表面積は増大し、担持した固定相液体量は増大し、その親和力(保持力)による成分の保持量(溶解量)は温度低下による溶解度の上昇効果などの点からも増加する。この場合、fire-brick C-22はシリカゲル、活性炭トラップ^{122) 123) 124)}のような吸着剤を充填する場合とは異なり、それ自身は各成分にたいしてほとんど不活性である¹²²⁾から粒径が小さくなるにつれて冷却表面積が増加する効果をもつと考えられる。

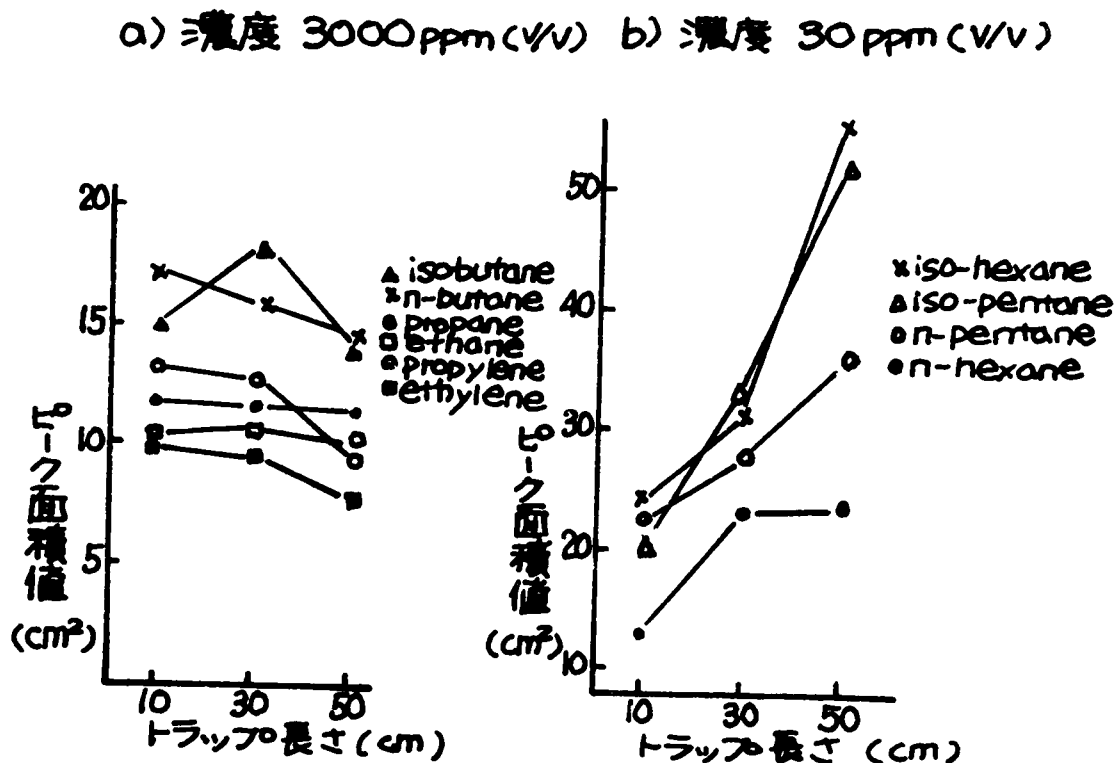
これらのことから、トラップでの捕集は冷媒による冷却作用による凝縮とトラップ充填剤の吸着、保持作用の両効果によると考えられる。本測定の結果ではfire-brick C-22の粒径が小さくなると、固定相液体の保持力の増加とは逆に炭化水素成分の捕集効率は減少する傾向を示した。すなわち、固定相液体の親和力による捕集作用にくらべて冷媒による冷

却による凝縮捕集効果が大きな役割を演じていると推察される。

4-3-3 トラップの長さによる差異

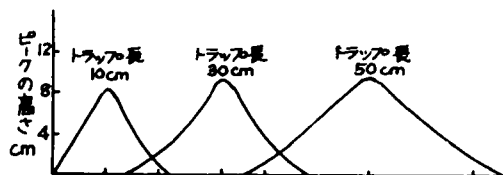
トラップの充填層に40% (wt) dimethyl-sulfolane, (fire-brick C-22, 粒度20-30メッシュ)を用い,トラップパイプ(内径4mm)の長さを10cm, 30cmおよび50cmに分えた場合の捕集効果の差異を測定した。その結果は図2-14に示す。

図2-14 トラップの長さによる捕集効率の差異



炭化水素の標準試料の濃度は, $C_2 \sim C_3$ 成分が3,000ppm (V/V), $C_5 \sim C_6$ 成分が30ppm (V/V) とした。常温, 常圧下で気相を呈する $C_2 \sim C_4$ 成分のなかで ethylene, propylene および n-butane はトラップの長さが10cmから30cm, 50cmと増加するにつれて, 捕集量に相当する各成分のピーク面積値はやや減少する傾向がみられ, ethane, propane では大きな変化がない。iso-butane ではトラップの長さが30cmのときにもっとも大きな値を示した。また, 常温, 常圧では液相を呈する $C_5 \sim C_6$ 成分の n-hexane を除く n-pentane, iso-pentane および iso-hexane は, いずれもトラップの長さが増大するとピーク面積値は大きく増加を示した。これらの液相成分は図2-15にクロマトグラム例 (iso-pentane) を示すように, トラップの長さが大きくなるにつれてピーク形は鋭さが鈍くなり, ピークの高さは低下し, 同時にピークのすそ巾は著しく大となる。このために半値巾法²⁴⁾によるピーク面積が急増を示す結果となった。同様にトラップの長さを70cmとした場合についても検討したが, 各成分

図2-15 トラップの長さによるピーク形の変化
iso-pentane 30ppm



ピークの形状はなだらかな台形状を呈して定量操作が困難である。そのうえ、隣接するピークと大巾に重複する。これらはいずれもトラップの長さが大きくなるにつれて捕集成分量は増加するが、分離カラムの空間容積にたいして成分量が多すぎる結果となり、分離カラムから溶出する成分ゾーンの中が広がって分離効果が大きく低下すること、ならびにトラップが長くなると、トラップから捕集成分を完全に分離カラムに移送する時間が大きくなって、カラム内の成分ゾーンの中が広がるのが原因する。さらに、 $C_5 \sim C_6$ 成分の場合についてピーク高値とトラップ長さとの関係を示すと図2-16のとおりである。いずれの成分ともトラップの長さが10cmのときに

ピークの高さがもっとも低く、30cm長ではかなり高くなるが、50cmの長さでは、30cm長で示された値と大差はほとんどない。すなわち、トラップの長さが10cmから30cmとなる場合には捕集量の増加によってピークが高くなるが、50cmの長さではピークの高さの増加は顕著でなく、むしろピーク巾が大きく増える。トラップの長さを大きくすると捕集を終ったときにトラップ内に残留する不活性ガス量（主として空気）も多くなり、分離カラムへ捕集成分を移す前にこれらの不活性ガスをキャリアガス（He）で駆除する、いわゆるフラッシュ操作⁶⁹⁾に長時間が必要である。すなわち、

トラップの死容積が大きくなる。（ただし、トラップは冷媒中に浸漬）。このため、いったんトラップに凝縮捕集された

成分がキャリアガス中にその温度における蒸気圧だけで逸脱して、結果的に捕集効率の低下をもたらすことも考えられる。これらのことから、トラップが長くなると、トラップ内に捕集される成分量が増加する一方、キャリアガス中への逸脱量が増大し、分離カラムへの移送効率の低下をもたらしており、これらは全く反対の効果を示す。本測定の結果からもっとも適当とみられるトラップ長さは30cmである。

4-3-4 トラップ内径による差異

40% (wt) dimethyl-sulfolaneトラップ (fire-brick C-22, 20-30メッシュ) の長さを30cmとして、トラップ内径を4mm、6mm、および8mmに変えた場合の捕集効果の相違を測定した。その結果は表2-7に示す。ethyleneおよびn-hexaneはトラップの内径の違いによってピーク面積値に大差がみられないが、

図2-16 トラップの長さとのピークの高さの関係

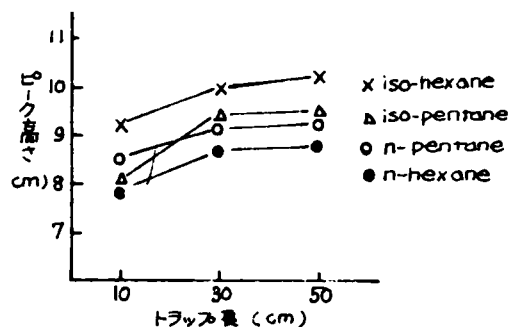


表2-7 トラップの太さによる効果

a) 濃度 3.000 ppm (V/V)
ピーク面積値 (cm²)

トラップサイズ (mm)	ethane	propane	n-butane	iso-butane	ethylene	propylene
8×300	4.96	10.30	9.90	7.45	8.46	7.91
6×300	7.36	10.68	11.30	10.70	8.66	8.45
4×300	8.34	11.78	12.40	11.93	8.89	9.03

b) 濃度 30 ppm (V/V)
ピーク面積値 (cm²)

トラップサイズ	n-pentane	n-hexane	iso-pentane	iso-hexane
8×300	16.55	4.99	8.34	13.91
6×300	18.05	5.15	10.22	16.44
4×300	18.30	5.55	14.52	22.80

他の成分ではいずれもトラップの内径が4mmのときにもっとも大きい面積値を示す。内径が6mmおよび8mmと大きくなるにつれてピーク面積値が減少する傾向がみとめられる。トラップの内径が2倍になれば内容積、すなわち充填剤量は4倍に増加するが、トラップの外面からの冷却効果は伝熱距離が大きくなるために低下する。さらに、前述のようにトラップの死容積が増大することにより成分の分離カラムへの移送効率の低下を生じるために、トラップ内径の増大が結果的には捕集効率の向上をもたらさないことがみとめられる。

4-3-5 中空およびガラスウールトラップの効果

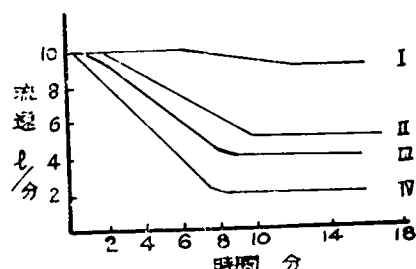
低濃度の低級炭化水素をGCで分析するにあたっては、40% (wt) dimethyl-sulfolaneトラップ (fire brick C-22, 20-30メッシュ, 内径4mm, 長さ30cm) を使用して濃縮捕集することがきわめて有効であることは前述のとおりである。しかし、本測定に使用したTCDの面積感度は3,000ppm (V/V) のethane 1.7ℓにたいしてピーク面積値は19.2cm²を示した。この場合クロマトグラム上でピーク面積として測定しうる最小面積は0.45cm²であって、これはethaneの2.3ppm (V/V) に相当する。それゆえ、都市の汚染空気のように、各成分の濃度がきわめて低い場合 (0.0001~0.1ppm) の測定にはさらに多量の空気から成分を濃縮捕集する必要がある。たとえば、0.01ppm (V/V) のethaneを完全にピークとしてクロマトグラム上に検出するためには、少くとも1.7×2,000ℓの空気量が必要となる。このような大量の試料を採取する容器が実際にはえられないことから吸引法によって試料の採取が行われる。すなわち、連続的に試料空気を捕集トラップへ通して凝縮捕集する方法で、通過空気量はトラップの空気取入口側で流量計によって測定される。前述のdimethyl-sulfolaneトラップを用いて大量の空気を吸引処理すると、アスカイト吸収管で完全に除去されない水分や炭酸ガス、あるいは凝縮しやすい成分、たとえば高沸点成分がトラップ内で凝結して、いわゆるトラップの目づまりを起こす。これらのことから、トラップの充填剤の粒度を10-20、20-30、および40-60メッシュに変えて吸引時間とトラップを通過する空気量の関係を実際の都市空気 (気温25℃, 湿度55%) を用いて測定した。都市空気が最初にトラップを通過する速度を10ℓ/minとして、吸引時間によるトラップ通過速度の変化を測定した結果は図2-17に示す。粒度10-20メッシュの場合(Ⅱ)には吸引をはじめてから約10分後に通過速度は5ℓ/minに低下し、粒径が細くなるにつれて通過流速の低下傾向は著しく大となる。それゆえ、0.01ppm (V/V) のethaneを検出するために要する被吸引空気量3,400ℓは、トラップ充填剤の粒度を20-30メッシュとした場合 (内径4mm, 長さ30cm) に約9時間以上の吸引を要することになり、実際上ほとんど不可能である。また、このような長時間の濃度平均値は大気汚染としてはほとんど価値がない。さらに、検出感度がTCDの約1000倍²⁸⁾を示すFIDの場合でも0.0001ppm=1ppbのethaneの検出には54分の吸引を要することになりはなはだ不都合である。そこで、トラップを中空にした場合の吸引量と時間の関係について測定した。その結果は図2-17のⅠの場合である。

すなわち、トラップ通過速度の低下傾向がもっとも小さく、大量空

気の処理に要する時間は大巾に短縮できる。この場合は、トラップ外からの冷却効果で汚染成分をトラップ内面に凝縮 (凝結) させて捕集するものである。

これらのことから、トラップの長さを20cmとして、内径を4mm, 6mmおよび8mmに変えた中空のトラップによる捕集効果を測定した。その結果は表2-8に示すとおりで、表には40% (wt) dimethyl-sulfolaneトラップ (fire-brick C-22, 粒度20-30メッシュ) による成績をも示す。すなわち、充填剤を詰めた場合にくらべて、中空トラップによる各成分の捕集量はかなり低い値を示し、中空トラップの内径の違いによる捕集効率には大差はない。中空トラップでは温度の低下によってトラップ内壁にいったん凝縮液化した成分が微細な液滴、ミスト、または結晶となつて、トラップを通過する空気とともに外部に吸引排出されるために、このように効率が低いものと考えられる。

図2-17 流量の経時変化



- Ⅰ 中空トラップ
- Ⅱ 10-20メッシュ
- Ⅲ 20-30メッシュ
- Ⅳ 40-60メッシュ

表2-8 中空トラップの効果

a) 濃度 3,000 ppm (V/V)
ピーク面積値 (cm)

トラップサイズ (mm)	packing	ethane	propane	n-butane	iso-butane	ethylene	propylene
4×200	empty	2.40	3.62	3.92	2.74	1.64	2.24
6×200	"	2.60	3.88	4.32	3.02	1.95	2.30
8×200	"	2.86	4.04	4.66	3.12	2.22	2.44
4×300	40%DMS	8.34	11.78	12.40	11.93	8.89	9.03

b) 濃度 30 ppm (V/V)
ピーク面積値 (cm)

トラップサイズ (mm)	packing	n-pentane	n-hexane	iso-pentane	iso-hexane
4×200	empty	9.51	2.00	8.20	8.94
6×200	"	9.84	2.04	8.57	9.02
8×200	"	10.42	2.26	8.84	9.76
4×200	"	18.30	5.55	14.52	22.80

そこで、凝縮成分の逸脱を妨いで捕集量の増加と、捕集時の通過空気にたいする抵抗を小さくするために、トラップの充填剤にガラスウールを用いた場合の効果を検討した。トラップの長さを20cmとして、内径を4mm、6mmおよび8mmの場合について、それぞれガラスウール(2g)を標準試料の冷却捕集を行なった。その結果は表2-9に示すとおりで、

表2-9 ガラスウールトラップの効果

a) 濃度 3,000 ppm (V/V)
ピーク面積値 (cm)

トラップサイズ (mm)	packing	ethane	propane	n-butane	iso-butane	ethylene	propylene
4×200	glass wool	8.20	12.42	12.60	9.56	9.20	8.96
6×200	"	8.76	12.64	12.67	10.85	9.68	9.44
8×200	"	9.10	12.98	12.80	13.50	10.16	9.94
4×200	40%DMS	8.34	11.78	12.40	11.93	8.89	9.03

b) 濃度 30 ppm (V/V)
ピーク面積値 (cm)

トラップサイズ (mm)	packing	n-pentane	n-hexane	iso-pentane	iso-hexane
3×200	glass wool	19.18	8.10	16.22	74.64
6×200	"	19.20	8.18	16.40	77.88
8×200	"	19.25	8.28	16.42	78.00
4×300	40%DMS	18.30	5.55	14.52	22.80

dimethyl-sulfolane トラップを使用した場合の成績にくらべてほぼ同等、あるいはそれ以上の捕集効果がみられ、なかでも内径8mmのトラップによる値はもっともすぐれている。

さらに、内径8mmのガラスウールトラップの長さを5cm、10cm、15cm、20cmおよび30cmと変えた場合の捕集効

果の差異についてお示した結果を図2-18に示す。抽集成分 ($C_2 \sim C_4$ 成分) のピーク面積値は、ガラスウールトラップの長さが5 cmのときに各成分とももっとも小さく、10 cmの長さでは抽集量がかなりの増加を示した。トラップの長さが15 ~ 30 cmの範囲で抽集量はほとんど同程度とみられ、用いた標準物質のなかで、iso-butane は10 cmから15 cmまでは抽集量が増大する。すなわち、ガラスウールトラップの場合には少なくとも15 cm程度の長さが必要である。

また、トラップに詰めるガラスウール量のちがいによる抽集量の差異は図2-19に示す。すなわち、内径8 mm、長さ20 cmのトラップにガラスウールを1 g、2 g、3 g、および6 gの割合で充填して $C_2 \sim C_4$ 成分にたいする抽集効果を測定した。ガラスウールの充填量が2 gでは各成分とももっともすぐれた抽集効果みられ、さらに充填量が増大すると抽集量はやや減少する。ガラスウール自身は炭化水素にたいして親和力(吸着)は全くもないが、凝縮成分のミストがトラップを通過する空気流にともなって逸散することを防止する作用、トラップ内の冷却表面積の増大効果をもたらすと考えられる。また、ガラスウールトラップの場合には抽集成分の分離カラムへの移送においても抽集成分にたいする保持能をもたないことからきわめて容易となり、各成分の分離に有利であるとみられる。

さらに、表2-12において、DMS充填トラップ(内径4 mm、長さ30 cm)による $C_2 \sim C_4$ 成分の抽集効果は、長さが10 cm短かいガラスウール充填トラップ(内径4 mm、長さ20 cm)の場合とほとんど大差がなく、 $C_5 \sim C_6$ 成分についてはガラスウールトラップの抽集効果がかなり大きいことがみとめられる。すなわち、DMSトラップでは冷媒による冷却作用による成分の凝縮液化(固化)による効果と、充填剤と成分との親和力(保持能)による効果によって抽集が行われ、ガラスウールトラップでは冷却表面積を大きくしただけの冷却効果のみによる抽集である。それゆえ、トラップ長が10 cm短かく(トラップ内容積が1/3)でも抽集効果がDMS充填トラップよりも大きいことから、成分の抽集には冷却効果が大きな役割を果たしているものと推察される。

4-4 総括

自動車の排気成分による都市の大気汚染物をガスクロマトグラフィーによって測定する場合には、抽集トラップ法を利用する必要がある。その際に抽集の困難とされている低級炭化水素の抽集トラップについて検討した。すなわち、従来からの低温凝縮抽集トラップによる抽集条件について検討し、さらに大量の汚染空気から抽集のために、ガラスウールトラップの効果を検討した。この場合、汚染成分として $C_1 \sim C_6$ 炭化水素、10種(30 ~ 3,000 ppm)を用いた。その結果を要約するとつぎのとおりである。

1) 40% (wt) dimethyl-sulfolaneトラップ(fire-brick C-22, 20-30メッシュ)を使用して、試料容器から減圧吸引法で $C_2 \sim C_6$ 炭化水素を凝縮抽集する場合には、少なくとも試料容器内の真空度が160 mmHg程度に達するまで吸引する必要がある、従来の250 mmHg程度の吸引では抽集量に誤差を生じ易い。

2) 40% (wt) dimethyl-sulfolane トラップの充填剤の固定相担体に用いる fire-brick C-22

図2-18 ガラスウールトラップの長さによる差異

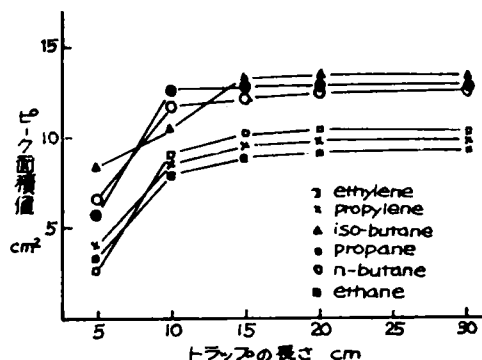
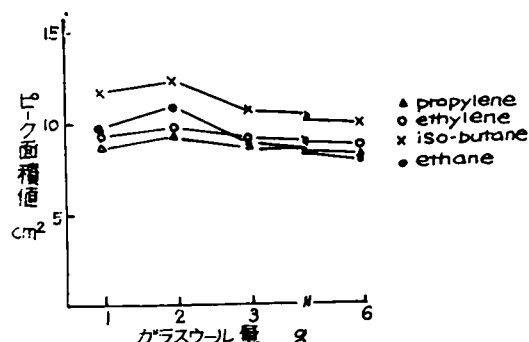


図2-19 ガラスウールの充填量による差異



の粒度のちがいは、成分の捕集量にかなり大きな影響を示し、粒度20-30メッシュの場合がもっともすぐれた捕集効率を示す。

3) 40% (wt) dimethyl-sulfolaneトラップ (fire-brick C-22, 20-30メッシュ、内径4mm) の長さのちがによる捕集効果を検討し、30cmの長さがもっとも有効であることをみとめた。さらに、トラップの長さを30cmとし、トラップの内径を4-8mmに変えた場合の効果についても測定したところ、内径4mmの場合がもっともすぐれた結果を示した。

4) 大気汚染レベルの低級炭化水素 (0.0001~0.1 ppm) の測定には、大量の汚染空気からの凝縮捕集が必要で、従来から用いられている分離カラムの充填剤を詰めた捕集トラップでは、捕集時間が非常に長くなって実際には不都合である。このため中空トラップとガラスウールを充填したトラップについて捕集効果を検討し、内径8mm、長さ20cmのトラップにガラスウール2gを詰めた場合には大量の空気の処理が短時間で済み、低級炭化水素の捕集効率も dimethyl-sulfolane トラップを用いた場合とほとんど差がなく、実用上はなほだ有効であるとみとめた。

5) 分離カラムの充填剤を詰めた捕集トラップの機能は冷却による成分の凝縮と固定相液体の保持能とにあるが、実際には前者による効果が大きな役割を演じている。

以上は ガスクロマトグラフィーの都市大気汚染への応用において重要な因子の一つである微量成分にたいする実際的な捕集方法について検討したもので、汚染成分のトラップ内での凝縮機構などについてはさらに検討する必要がある。

第5節 カラム担体の性状ならびに分解能に関する実験的研究

5-1 研究目的

ガスクロマトグラフィーの分離カラムのもつ分離機構にたいする理論的解釈は溶質の分配係数を定義してなされていることは本章第2節で略述した。しかし、溶液理論にもとづく固定相 (溶媒) と溶質の特性から分離カラムにおける成分の分離を正確に予知するには至っていない⁴⁸⁾。それゆえ、分析試料 (対象成分) にもっとも有効な固定相液体 (カラム充填剤) の選択は主として若干の仮説¹³⁾や実験的事実²⁴⁾から試行錯誤的にされているのが現状である⁴⁹⁾。

大気汚染物や自動車の排気のように試料中に未知成分が多く含まれている場合、あるいは広範囲の成分を含む試料の分析にはもっとも有効なカラム充填剤の選定がきわめて重要となるが、これについての規則性は明らかでなく、使用されるカラム充填剤の種類によっては測定成果に大きな影響をもたらす場合もみられる。とくに、大気汚染研究の分野では測定成分の濃度 (絶対量) がきわめて低い場合が多く、本章第4節で述べた濃縮捕集法を用いて分離カラムに注入される試料量が大きくされる。このような場合には、カラムの分離効率の低下や出現ピークの位置のずれ、ピークのテーリングなどがおこり分析精度も大きく低下する。これらの問題については多くの研究^{125) 126) 127)} がなされているが、分離カラムの充填剤 (固定相液体および担体) と溶質 (成分) の性状の相互関係にもとづく追求は少ない。

本研究では、都市の大気汚染に大きく関与する炭化水素の分離に有利である^{47) 127) 128) 129) 130)} dimethyl-sulfolane カラムの固定相担体粒子の性状の相違による分離効率、すなわち分解能との関係から、もっとも有効な担体粒子を選択することを目的として、標準成分を用い若干の検討^{131) 132)}を行った。

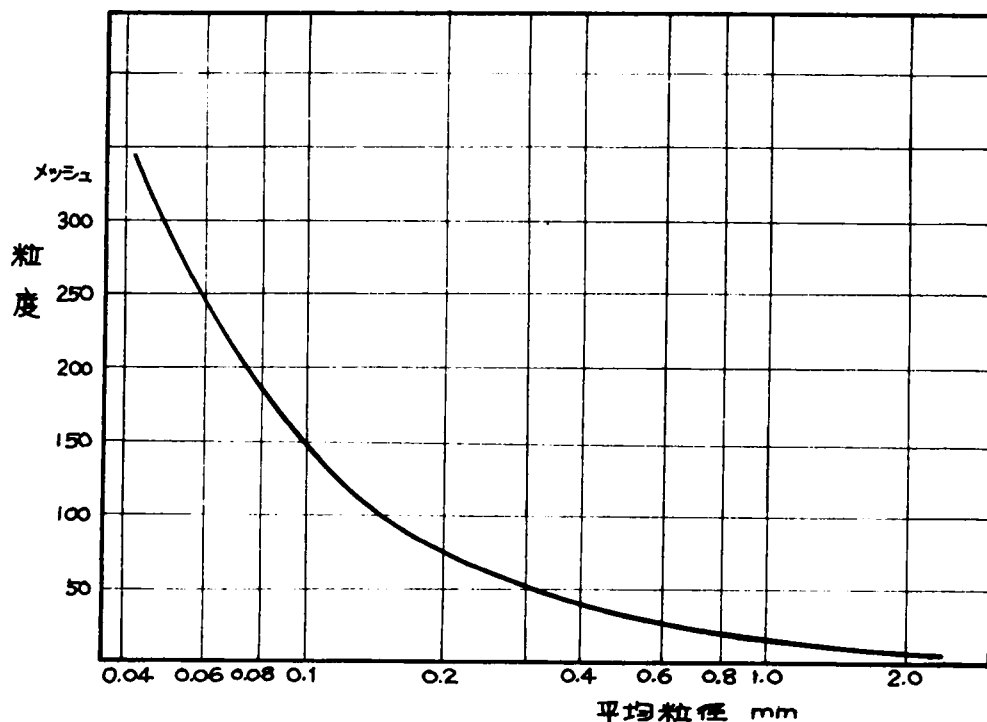
5-2 実験方法ならびに試料

5-2-1 試料担体

GLCの分離カラムの固定相担体には、溶質の気液間の分配平衡をすみやかに達成させるために表面積が大きいこと、溶質および溶媒にたいして不活性であること、カラムパイプへ充填する際に担体粒子が砕けないように適当な機械的強度をもつことなどが必要条件とされ、主として珪藻土質の粒状担体が有効とされていることは本章第2節で述べた。なかでも、fire-brick C-22 (耐火レンガ)、celite 408, celite 545, isolite N-2, isolite N-4, chromosorb P は、一般に担体粒子として広く使用されており、本実験においてもこれらを試料とした。試

料の担体粒子はASTM E-11-58T¹³³⁾に規定された標準篩を使用して粒度10-20メッシュから180-200メッシュの11粒度に篩別し、平均粒径は各粒度の中央値であらわした。ASTM E-11-58Tによる粒度と平均粒径の関係を図2-20に示す。

図2-20 平均粒径とメッシュ ASTM E11-58T¹³³⁾



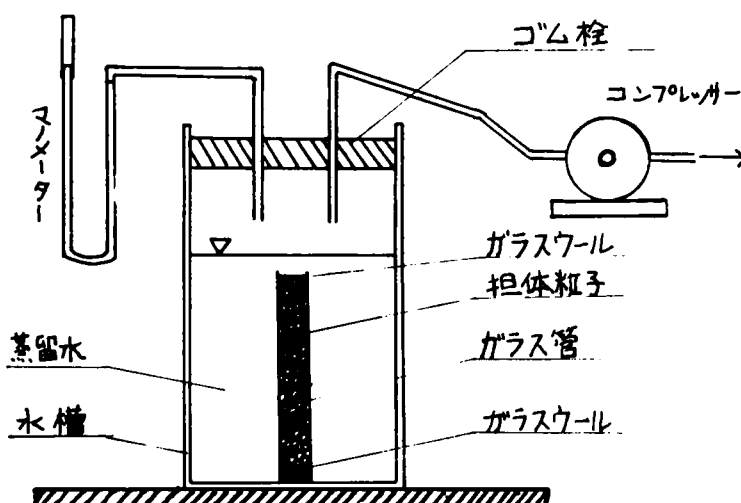
5-2-2 測定方法

1) 含水率; JIS A1203による土の含水試験法¹³³⁾に準じ、電気炉により担体粒子を加熱して水分を除去したのち、秤量して含水量を重量%で示した。

2) かさ比重¹³³⁾; 分離カラムに使用する銅パイプ(内径4mm、長さ1m)に担体粒子をパイプレータを用いて充填したのち、担体重量のカラム容積にたいする容積比(g/ml)で示した。

3) 真比重ならびに空隙率; JIS A1202による土粒子の比重試験法(ピクノメーター法)¹³³⁾により、担体粒子の真比重を測定した。また、概略を図2-21に示すとおり、担体粒子をつめたカラムパイプを密閉水槽内に浸けて、真空ポンプで水槽内の気圧を24時間吸引低下させ、担体粒子表面に付着した気泡および間隙空気を蒸留水で置換した。置換した水の重量から空隙率を求めた。

図2-21 空隙の水置換



4) 比表面積; 水波ら¹³⁴⁾の脂肪酸吸着法によって測定した。すなわち、benzeneを溶媒とし、palmitic

acid ($\text{CH}_3\text{CCH}_2)_{14}\text{COOH}$) ($0.05 \sim 2.0 \text{ g/g}$) の溶液中に担体粒子 (2 g) を浸漬し、浸漬時間および溶液濃度を变化させて担体粒子表面での脂肪酸の単分子層吸着量¹³⁴⁾ を求めた。さらに、単分子層吸着量と palmitic acid の分子断面積 (20.5 \AA^2)¹³⁴⁾ から比表面積 (cm^2/g) を算出した。

5) 分解能: Jones ら¹³⁵⁾, Ambrose ら¹³⁶⁾ の提唱にしたがって、各担体を用いた場合についてクロマトグラム上で隣接した二つの成分ピークの相対分離度および相対尖鋭度から分解能を測定した。各担体粒子の固定相液体(溶媒)には lauryl phthalate [$\text{C}_{12}\text{H}_{24}(\text{CO}_2\text{C}_{12}\text{H}_{25})_2$] を重量で 30% の割合で保持させて使用した。標準試料³³⁾には benzene, cyclohexane, toluene の芳香族炭化水素ならびに methyl alcohol, ethyl alcohol, n-propyl alcohol, n-butyl alcohol のアルコール類をそれぞれ等量 (V/V) に混合して使用し、第4節と同じ装置(コタキ, GD-2型)を使用した。分離カラムは内径 4 mm, 長さ 1.5 m のステンレスパイプで、カラム温度は $70^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ とした。試料はマイクロシリンジにより $2 \mu\text{l}$ を注入した。標準物質の保持時間(容量)はカラム内のキャリアガスの圧力勾配や流速変動に影響される²⁴⁾ から、カラムの出入口圧による圧力補正²⁴⁾ を行ない、キャリアガスの流速を $40 \sim 120 \text{ ml}$ に変えて保持容量、ピーク巾およびピーク高にたいする検量線を作製して、キャリアガスの流速変動による影響を除いた。キャリアガス流速の変化による保持容量値の変動は図 2-22 に例を示す。すなわち、キャリアガス流速と保

図 2-22 流速と保持容量の関係

持時間(容量)値は比例

関係を示し、ピークの高さ、およびすそ巾値は反比例の関係を示す。

これらの検量線からキャリアガスの流速が 80 ml/min における値を求めて分解能の算出に用いた。

5-3 測定成績ならびに考察

5-3-1 担体粒子の含水率

各粒度についての含水率を測定するにあたって、各担体の乾燥温度と乾燥時間による含水量値の変化を検討した。一般に、GLC の担体は水蒸氣にたいする吸着性が大きく、水分の除去のための加熱

温度はかなり高くする必要がある。乾燥時間を 3 6 時間として fire-brick C-22 の 20-30, 40-50, 180-200 メッシュ, isolite N-2, 30-40 メッシュ, celite 545 180-200 メッシュにたいする乾燥温度 ($50 \sim 300^\circ\text{C}$) を变化させた結果は図 2-23 のとおりで、各担体とも 200°C 以上の乾燥温度では各一定の含水率に達し、分配液(固定相液体)を保持させる前の乾燥処理は 200°C 以上で行なう必要があるとみとめられる。また、乾燥温度を 200°C として乾燥時間 (12-72 時間) を変えた場合の含水率の差異は図 2-24 に示す。各担体とも乾燥時間が 12 時間、24 時間と長くなるにつれて除去される水分量は増加し、36 時間以上の加熱処理では各々につい

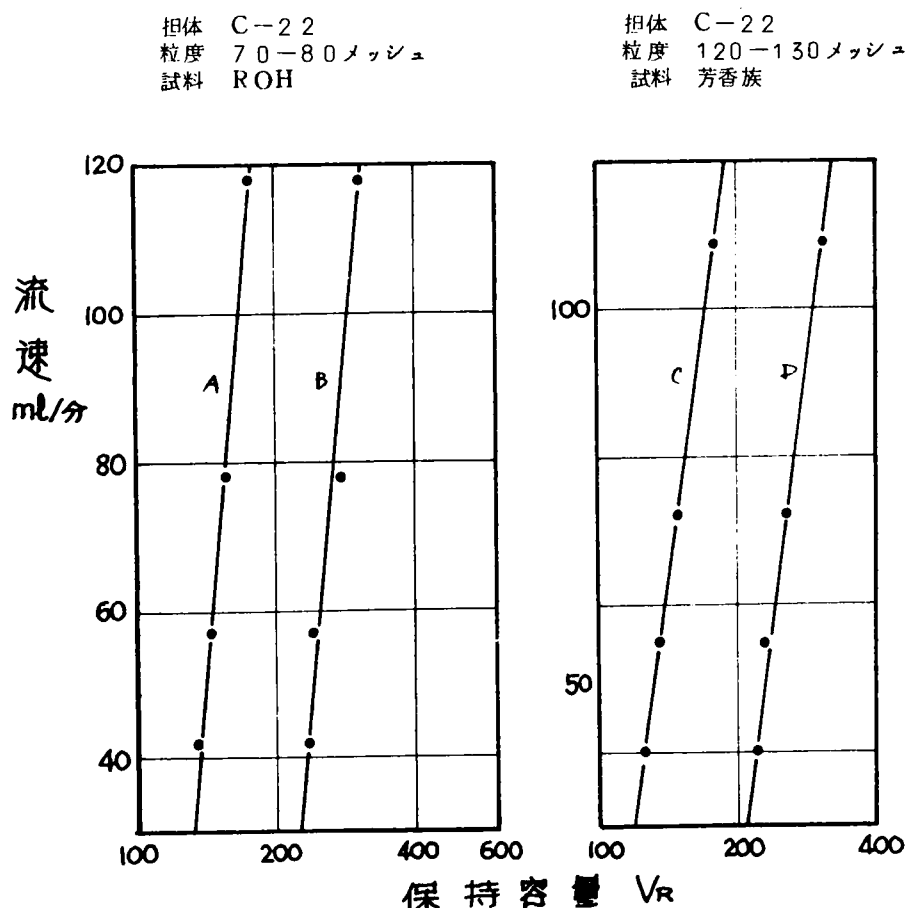


図 2-23 乾燥温度と水分除去率

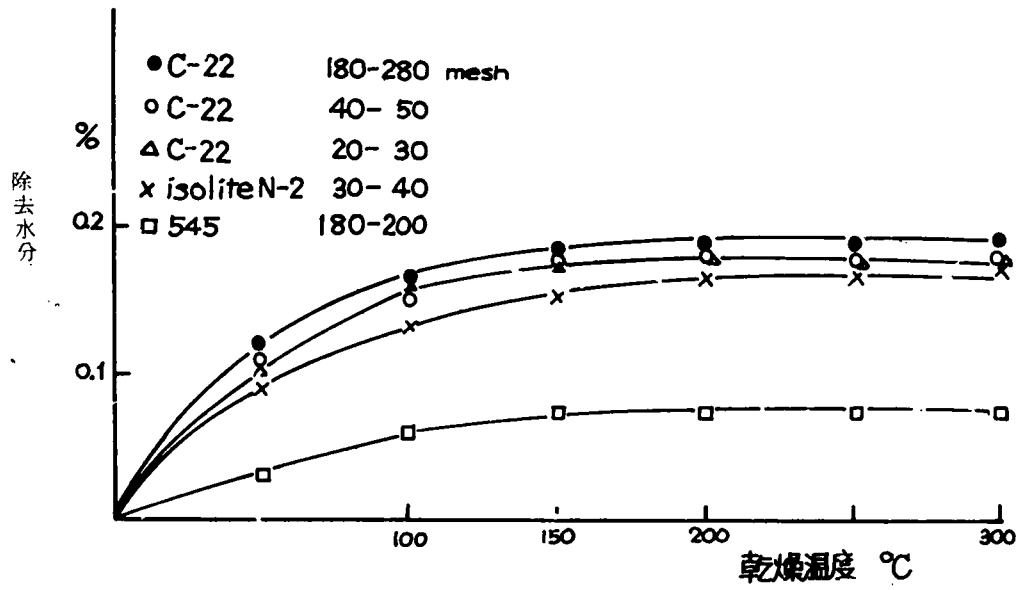
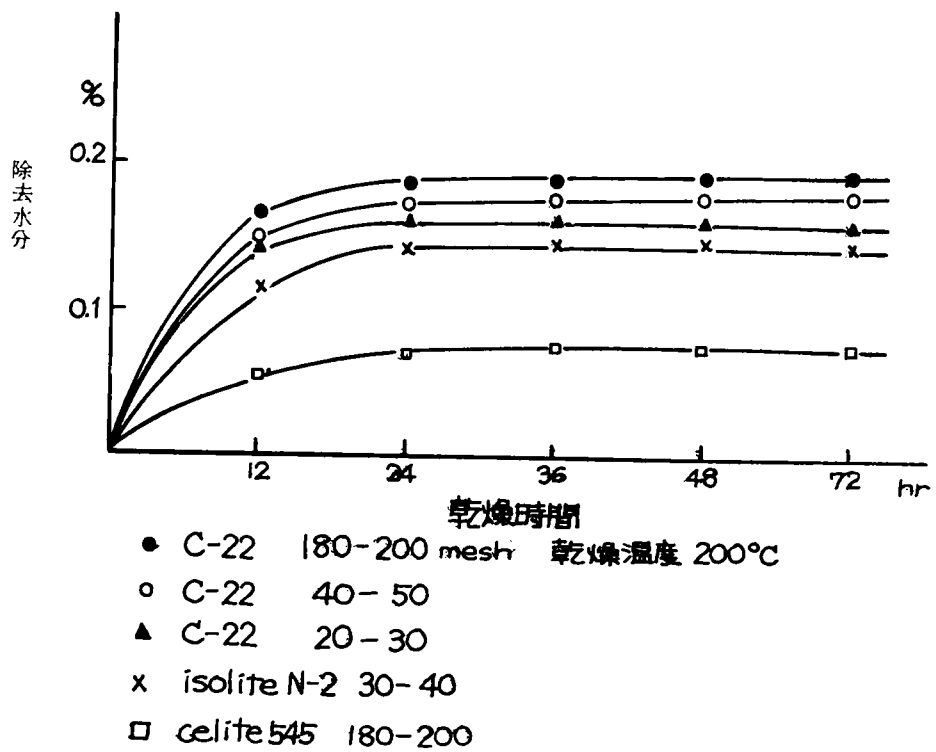


図 2-24 乾燥時間と水分除去率



では、1.0%を示す。これらの結果から、200℃で36時間の乾燥処理を各担体について行なった含水率は表2-10

表 2-10 担体の含水率
水分除去率

(wt %)

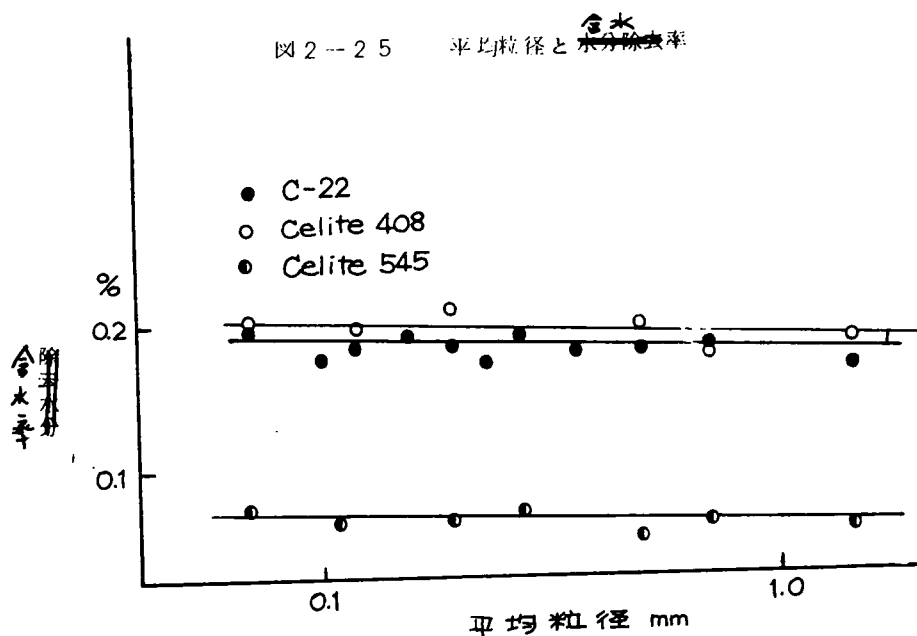
粒 度	Fire-brick C-22	Celite 408	Celite 545	Iso-lite N-2	Iso-lite N-4	Chromosorb P
mesh mm						
10 - 20 1.42	0.167	0.170	0.056			
20 - 30 0.71	0.182	0.176	0.062			
30 - 40 0.50	0.179	0.197	0.053	1.65	0.424	0.249
40 - 50 0.359	0.176					
50 - 60 0.274	0.190		0.070		0.439	
60 - 70 0.230	0.143					
70 - 80 0.194	0.182	0.209	0.065	1.92	0.644	0.262
90 - 100 0.156	0.190					
120 - 130 0.120	0.183	0.196	0.065	2.08		
140 - 150 0.100	0.175					
180 - 200 0.070	0.195	0.201	0.072			

に示すとおり、担体の種類および粒度によって若干の差異がみられる。isolite N-2の含水率 (wt) は1.65~2.08%と最も大きく、isolite N-4がこれにつく。chromosorb P は0.249~0.262%、celite 408は0.170~0.201%、fire-brick C-22は0.143~0.195%を示し、celite 545は0.053~0.072%と最も小さい。fire-brick C-22、celite 408およびcelite 545 について各粒度の含水率 (wt) を平均粒径についてプロットすると図2-25のとおりで、粒径の違いによる含水率には各担体とも明らかな変化傾向がみられない。

分離カラムの充填剤が吸湿していたり、注入される分析試料中に水蒸気が含まれていると、カラムの分離効率が大きく低下すること、検出成分のピークのテーリングが大きくなること、カラム充填剤の寿命が大幅に短縮されることなどの悪影響が生じる²⁴⁾。さらに、TCDは水蒸気によって検出感度が大幅に低下する²⁴⁾。このため、水分

を妨害物質としてあらかじめ除去することが重要であり²⁴⁾、市販担体粒子を使用してカラム充填剤を調整する際には水分の除去が必須条件²⁵⁾となる。

珪藻土担体の化学組成は本章第2節で述べたが、珪藻土の硬さを増すために300℃以上の焼成が必要で、一般には珪藻



土原土が1,000℃付近の温度で焼結精製されて固定相担体に供されている。この場合に珪藻土を構成する珪藻殻の加熱による変化は混存する不純物に直接関係し、純粋な原土は1,300℃付近の加熱を受けても安定であるが、不純なものは1,100℃付近の温度でも不安定で、珪藻殻が破壊消失する。加熱変化の最大原因は原土中の鉄化合物の融解作用によって珪藻殻のガラス化が起るためとされ、原土を構成する珪藻の種類および形態にも影響されると述べられている⁴⁸⁾。すなわち、coscinodiscusやcyclotellaのように珪殻が薄くて形態の大きなものは比較的低温で不純物によって溶融されるが、melosiraのような珪殻が厚く小形のものは高温でも安定である⁴⁸⁾。珪殻の構成成分は含水無定形珪酸であるから1,000℃以下では結晶構造の変化はないが、1,150～1,200℃付近で急激にcristobaliteの高温安定品に移転する。これらのことから、珪藻土の焼成温度は担体の性能に大きく影響し、焼成温度が1,000～1,200℃の範囲ではほとんど影響はないが、1,300℃になると珪殻の破壊を起して急激に劣化する⁴⁸⁾。また、珪藻土原土は相当な水蒸気吸着能を示し、加熱処理により大きく変化して1,000℃付近の加熱によって吸着能はほとんど消失するが、実際には原土に含まれる粘土、火山灰などの影響から焼結品でも若干の吸着能が残っており、GLCの担体を使用されるときにピークのテールリングの原因となる⁴⁸⁾。本測定の成績においても、加熱精製された市販の珪藻土担体粒子にはなお0.053～2.08wt%程度の含水率をもつことがみられ、これらの水分は固定相液体を保持させる前に除去する必要があり、200℃の温度で36時間以上の再処理を施すことによってほぼ除去される。

5-3-2 担体粒子のかさ比重

一般に、粉体粒子のかさ比重は単位容積あたりの粉体重量で示され、粉体体積の測定容器の違いによって若干の異なりが生じる。そこで、体積の測定容器にカラムパイプ（内径4mm、長さ1m）を使用してかさ比重の測定を行なった。fire-brick C-22を用いた場合のパイプの充填量、 y_g と粒径、 x_{mm} の関係について測定した結果、

$$y = 4.990 - 0.446 \log x \quad \cdots (2-32)$$

の関係がみとめられた。すなわち、粒度の増大（粒径の低下）につれて、カラムパイプへ充填に要する担体の重量は減少する。これは粒径が小さくなるにつれて充填密度が増大することによるものである。

この場合の粉体重量は含水量を除いたもので、他の担体粒子の場合にも同様の傾向がみとめられた。

fire-brick C-22, celite 408およびcelite 545について、かさ比重値 y と各粒度の平均粒径、 x_{mm} の関係は図2-26に示すとおりで、それぞれの関係は

$$\text{fire brick C-22} \quad y = 0.374 - 0.056 \log x, \quad (2-33)$$

$$\text{celite 408} \quad y = 0.569 - 0.073 \log x, \quad (2-34)$$

$$\text{celite 545} \quad y = 0.259 - 0.112 \log x, \quad (2-35)$$

を示した。3種の担体のなかではcelite 545 (0.244～0.391)のかさ比重値がもっとも小さく、fire-brick C-22 (0.367～0.488)はやや大きい。celite 408のかさ比重はかなり大きく、いずれも粒径が小さくなるにつれてかさ比重が増加し、その増加勾配はcelite 408とfire-brick C-22はほぼ同程度である。図には、辛島ら⁴⁸⁾が述べているfire-brick C-22のかさ比重をも示すが、本測定での値にくらべてやや大きい。また、fire-brick C-22に重量で30%の割合にdimethyl-sulfolaneを保持させたカラム充填剤のかさ比重は0.542～0.625で、dimethyl-sulfolaneの比重が大きいために固定相担体に用いられているfire-brick C-22の値にくらべてかなり大きい値を示す。

chromosorb P, isolite N-2およびisolite N-4のかさ比重値は表2-11に示す。これらの担体の粒度が30～40メッシュでのかさ比重値は0.467～0.492で、粒度70～80メッシュでは0.512～0.565を示し、両担体の間には大差がない。表中にはcelite 545の粒度80～100メッシュを担体とし、30%の重量比でtriisobutylene, n-dodecane, di-n-butylmaleate, α -naphthylamine, squalane, diphenylmethane, di-octylphthalate, high vacuum silicone grease, およびethylacetateを固定相液体として保持させた市販のカラム充填剤について測定した値をも記す。これらの分配型カラム充填剤のかさ比重比は0.384～0.490で、液相をコーティングしないcelite 545の粒度90～100メッシュの値(0.362)にくらべてやや大きい。各固定相液体の比重が異なることから同一に論じられない。

図2-26 平均粒径とかさ比重値

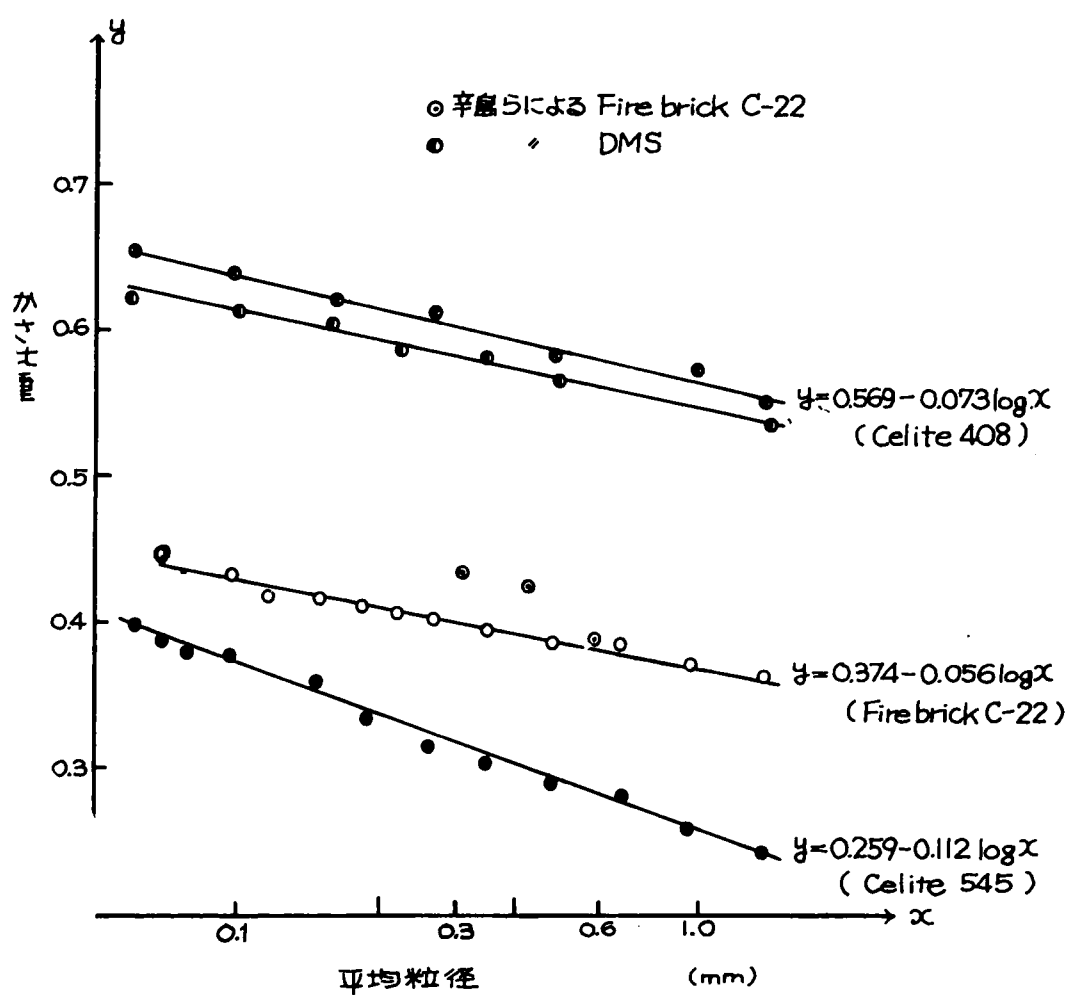
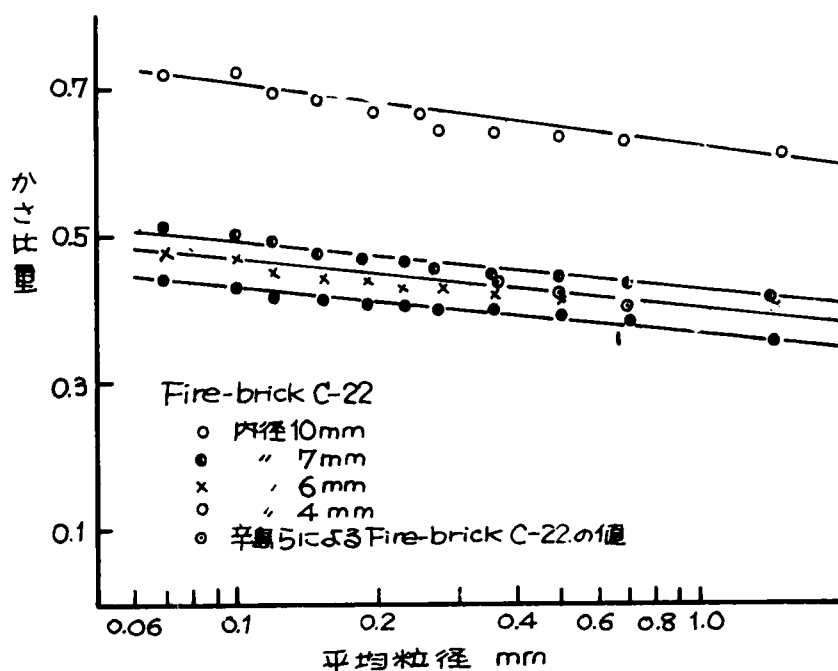


表2-11 担体および充填剤のかさ比重 (g/ml)

担体	粒度 (mesh)	かさ比重	Celite 545 80-100 mesh	かさ比重
Chromosorb P	30-40	0.492	Tri-iso-butylene	0.387
	70-80	0.565	n-Dodecane	0.446
Isolite N-2	30-40	0.467	di-n-Butylmaleate	0.464
	70-80	0.512	d-Naphthylamine	0.482
Isolite N-4	30-40	0.474	Squalane	0.477
	70-80	0.538	di-Phenylmethane	0.393
			di-Octylphthalate	0.476
			High vacuum silicone	0.490
			Ethylacetoacetate	0.384

さらに、粉体容積の測定方法のちがいによるかさ比重値の差異をみるためにカラムパイプの内径を、6・7・10・11 mmに変えて、fire-brick C-22を粒度別に充填して測定した結果を、各粒度の平均粒径について示すと図2-27のとおりである。体積を測定したパイプの内径が大きくなるにつれて、かさ比重値も増加し、内径が10 mmになると著しく大となる。図には辛島ら⁴⁸⁾の値をも示すが、本測定での内径が6 mmと7 mmの場合のはほぼ中間の値を示している。カラムパイプを用いた場合には、パイプの内径が2倍になると単位長さあたりの体積は4倍に増大するが、パイプの内表面積は2倍にしか増加しない。このためにパイプの内径が大きくなると、担体粒子とパイプの内壁の間の空隙が少なくなり、粒子の充填密度が増大するためにかさ比重

図2-27 測定容器の違いによる平均粒径とかさ比重の関係



値も大きくなる¹³⁴⁾。これらのことから、担体粒子のかさ比重の測定は粒子容積の測定容器を規定して比較されるべきで、分離カラムの性能を論じる上ではカラムパイプを基準にした値を用いることが、カラム効率を比較するために有利である。

5-3-3 真比重ならびに空隙率

各担体について測定した真比重は表2-12に示す。おおむね、2.0～2.5の値で、celite 545の値が2.031ともっとも小さく、celite 408の値は2.484ともっとも大きい。

fire-brick C-22, celite 408およびcelite 545の各粒度についてカラムパイプを使用して空隙率を測定し、その結果を各粒度の平均粒径についてプロットすると図2-28に実線で示すとおりである。真比重のもっとも小さいcelite 545の空隙率(83～88%)がもっとも大きく、fire-brick C-22(81～84%)、celite 408(73～77%)の順に低下する。粒子の平均粒径が小さくなる(粒度の増大)につれて空隙率は減少を示すが、celite 545の減少傾向がやや大である。

表2-11 担体の真比重(15℃)

担体	比重
Fire-brick C-22	2.303
celite 408	2.484
celite 545	2.031
Isolute N-2	2.343
Isolute N-4	2.394
Chromosorb P	2.441

一般に、粉体の空隙率 n はつぎのように示される^{134) 135)}。

$$n(\%) = \frac{V_v}{V_s + V_v} \times 100 \quad (2-36)$$

ただし、 V_v ：空隙の容積， V_s ：粉体の体積

$$\text{ここで、} V_s = w/d, \quad (2-37)$$

$$w = \alpha V \quad (2-38)$$

w ; 単位容積Vに充填

された粉体重量

d ; 真比重, α ; かさ

比重, V ; 全容積

であるから, 式2-36

はつぎのようになる。

$$n(\%) = \left(1 - \frac{\alpha}{d}\right)$$

$\times 100$

(2-39)

ここで, 前記(5-3-2)で求めたfirebrick C-22, celite 408 および celite 545 の平均粒径とかさ比重値の関係をあらわす回帰式(式2-33, 2-34, 2-35), ならびにそれぞれの真比重値を式2-39に代入すると

fire brick C-22については

$$n = \left(1 - \frac{0.374 - 0.056 \log x}{2.303}\right)$$

$\times 100$

(2-40)

celite 408については

$$n = \left(1 - \frac{0.569 - 0.073 \log x}{2.484}\right) \times 100 \quad (2-41)$$

celite 545 については

$$n = \left(1 - \frac{0.259 - 0.112 \log x}{2.031}\right) \times 100 \quad (2-42)$$

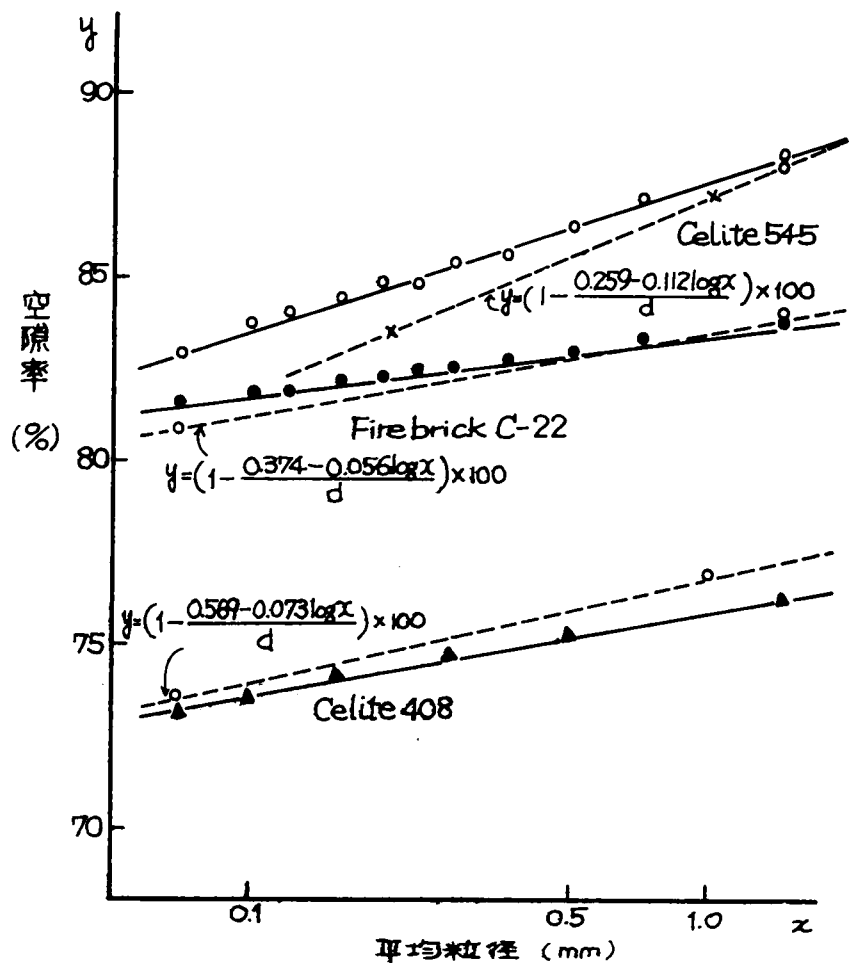
となる。ここで, xは平均粒径mm, nは空隙率%,

これらの式を用いて各粒径について求めた値をプロットすると図2-28に破線で示すとおりで, 実測値による傾向とは celite 545 の平均粒径が小さい場合を除いて大差はない。

粉体層の上面(カラムの入口)から下面(カラムの出口)に至るまでを一種の毛細管とみなすとき, 空隙の長さとか粉体層中の毛細管の屈曲性を表わすとして, Tortuosity $q^{134)}$ が提唱されている。この値は粉体層の空隙率の増大により減少して毛細管の長さが短くなることを意味する。GLCの分離カラムでは充填剤の平均粒径が大きくなるにつれて空隙率が増大することはさきに述べた。このことはq値の減少, すなわち, キャリヤーガスの流路が短縮されることになって, カラム内での気液の接触面積と接触時間の減少をもたらす, 成分にたいする分離効果を大きく低下させることを意味する。

一方, GLCの移動相(キャリヤーガス)は圧縮性気体がいられ, カラム内の充填剤による低抗からキャリヤーガスの

図2-28 平均粒径による空隙率



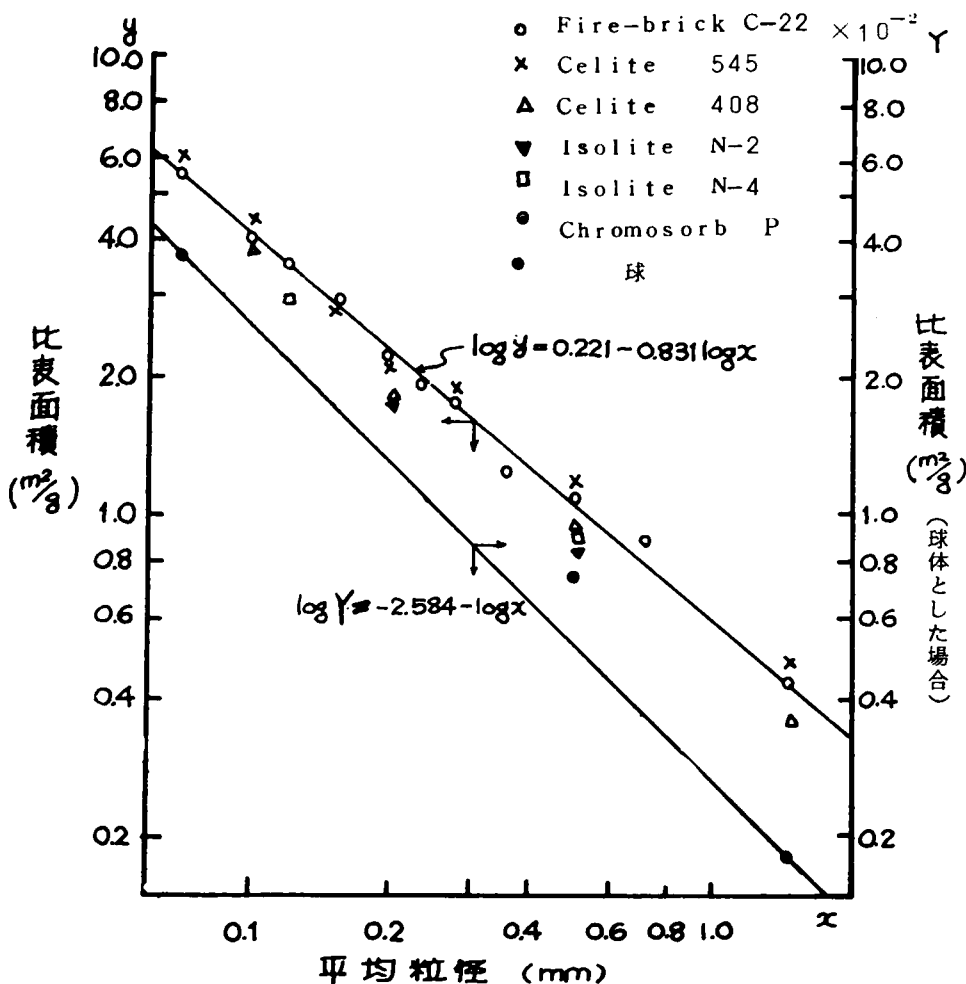
出口流速を一定にするには、カラムの入口での送入圧力を高くする必要がある。分離カラムがある一定の気体速度に対応して最高効率を示すことは、本章第2節で述べた Van Deemter 式からもみとめられる。すなわち、カラム長が増すと充填物量の増加からカラム内における気液の接触面積（時間）が増える。一方、充填物によるキャリアガス流にたいする抵抗が急増するために、カラム出入口の圧力差を大きくする必要があり、カラム内の一部で分離効率が著しく低下する²⁴⁾。このようにカラム充填剤による抵抗と気液接触面積の効果が相反する影響をもつことから、カラム効率にたいしてもっとも有効な粒子径（粒度）、すなわち、空隙比の存在することが推測され、このことは後述（5-3-5）の分解能の実例からもみとめられる。

5-3-4 担体粒子の比表面積および形態係数

分離カラムの充填剤の固定相担体に使用される粉体粒子の表面積と、その分離効果の関係については粒子の形状ならびに表面の粗度、細孔などが複雑なことから知見がきわめて少ない。³³⁾ 粉体粒子の比表面積の測定は B.E.T. 理論¹³⁴⁾ にもとずいたさまざまな方法¹³⁴⁾ がみられ、最近では GLC を利用した方法も発表されている⁴⁴⁾。これらのなかで、脂肪酸およびそのエステルを吸着質とした液相吸着法が比較的容易であることから、palmitic acid-benzene 溶液による方法¹³⁴⁾ を用いて測定した。すなわち、各担体粒子を溶液中に浸漬して粒子表面で palmitic acid が吸着平衡に達する時間を測定し、24時間の浸漬が必要であることをみとめた。そこで、担体粒子の

図 2-29 平均粒径と比表面積

定比 (2%) を palmitic acid 溶液 (0.05~25 g/l) に 24 時間浸漬して粒子表面の吸着量を測定した。その結果、えられた非 Langmuir 型の吸着等温線¹³⁴⁾ から単分子層吸着量を推定して比表面積値を求めた。かくして推定した各担体粒子の比表面積 (m^2/g) を各粒度の平均粒径について図 2-29 に示す。平均粒径が小さくなる（粒度の増大）につれて比表面積値は大きく増加し、供試担体のいずれについてもほぼ同様の傾向がみられる。



向がみられる。fire-brick C-22 および celite 545 の値は他に比べてわずかに大きい。また、担体粒子の比重を fire-brick C-22 の値 (2.303) とし、粒子形が球形であると仮定した場合の比表面積値と平均粒径の関係は図中に実線で示す。fire-brick C-22 について求めた回帰線 ($\log y = -0.221 - 0.831 \log x$) の勾配に近い傾向がみとめられ、両者の差は fire-brick C-22 の粒子表面における凹凸によるものである。ガスクロマ

トグラフィーの分離カラム内で溶質の気相（キャリアガス）・液相（固定相）間の分配平衡がすみやかに達成され、溶質成分の分離をよくするためには気液の接触表面積が大きいほど有利である。すなわち、固定相担体の比表面積の大きい（粒径が小さい）ほど効率が高いことは、本章第2節で述べた Van Deemter 式でカラム内の充填に関する項（ $2\lambda dp$ ）が小さくなるほどカラム効率は大きくなることからみとめられ、カラム充填の不均一性に関する λ は粒径 dp に比例する²⁴⁾から担体粒子の粒度が大きい（粒径が小さい）ほど有利となる。珪藻土の焼結品の比表面積値については、一般に、3~25 m^2/g ⁴⁸⁾、5~50 m^2/g ²⁵⁾とも述べられており、Ettre¹⁴⁰⁾は表面積の異なる5種類の担体（大略60~100メッシュ）について理論段長（H.E.T.P）を求めた際に、fire-brick C-22 は4.14 m^2/g 、chromo-sorb P は2.86 m^2/g 、celite は1.14 m^2/g 、teflon-1 は0.23 m^2/g の比表面積で、比表面積が1 m^2/g 以上の担体では成分の分離に影響がないと述べた。本測定における比表面積値も celite 545 を除いてこれと大差はない。

粉体粒子の形態の目安とされている形態係数、 K 、はつぎのように示される¹³⁴⁾。

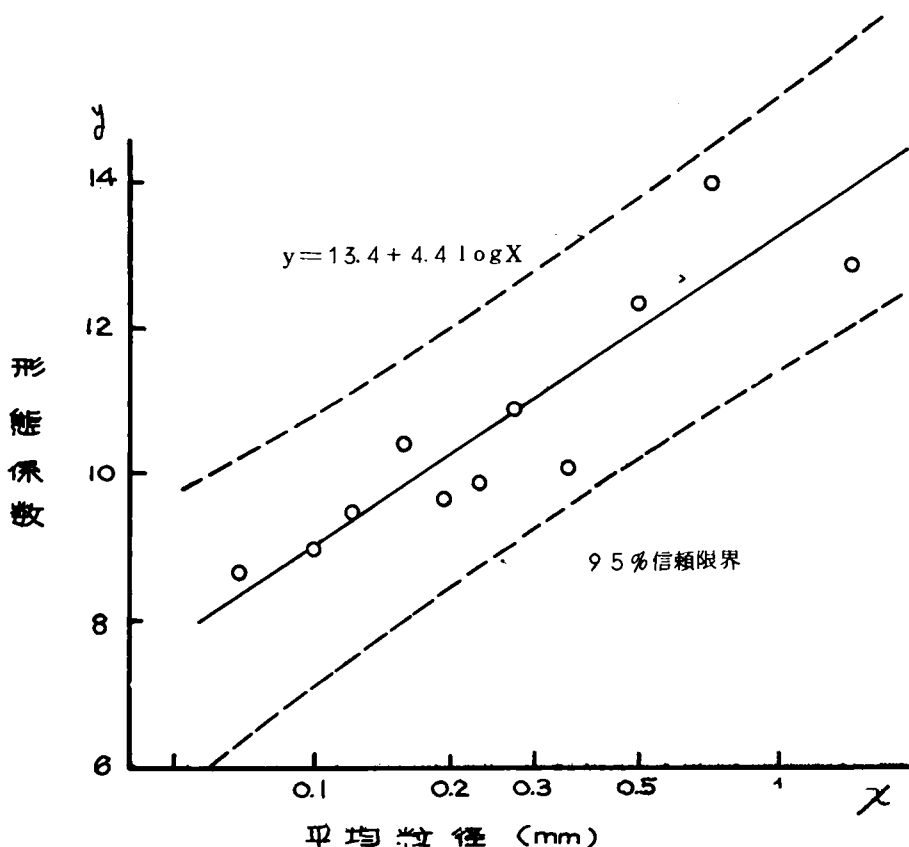
$$K = S_w \cdot D \cdot d \quad (2-43)$$

ただし、 S_w ：比表面積、 d ：比重

D ：平均粒径

ここで、本測定からえた比重、比表面積および平均粒径値を式2-43に代入してfire-brick C-22の形態係数を求めた結果を、平均粒径について図2-30に示す。平均粒径が小さくなる（粒度の増大）につれて形態係数値は大きく減少し、粒度が大きくなるにつれて粒子形が球形（形態係数=6）に近づくことを示し、他の担体粒子の場合もほぼ同様とみられる。粒子形が円盤（長軸径 ℓ =短軸径 w

図2-30 Fire brick C-22 の平均粒径による形態係数



=直径 d 、高さ $h=0.1d$ ）、および四角柱（ $\ell=w$ 、 $h=0.2w$ ）の形態係数は1.4¹³⁴⁾で、fire-brick C-22の粒度10~20メッシュ（平均粒径1.42 mm）では K 値が1.4付近を示すことから、この場合の粒子形は円盤、もしくは四角柱に近い形状をなすものと推察される。担体粒子の粒度の増大につれて K 値は減少して次第に粒子形が球形に近づくものと考えられ、このことは前記の5-3-3で測定した空隙率の成績からも容易に推測される。すなわち、等大の球形粒子の空隙率はほぼ40%で粒子表面の粗度が大となると空隙率は急増し、二種の球体の混合粉体の空隙率は

60～75%で粒径分布の巾の広い粉体ほど空隙率は大きい¹³⁴⁾。実測での fire-brick C-22 の空隙率は 81～84%，celite 408 は 73～77%，celite 545 は 83～88% で、粒径が大きくなるにつれていずれも減少する傾向がみとめられ、粒径が小さくなるにつれて粒度分布の巾が狭まり、粒子形が球形に近ずき粒子表面の凹凸が大きく減少するものと考えられる。

5-3-5 分 解 能

各担体粒子に重量で 30% の割合で固定相液体 lauryl phthalate を常法³³⁾により保持させたものを分離カラム（内径 4mm，長さ 1.5m）とした。芳香族炭化水素およびアルコール類の標準試料を用いてカラム充填剤（担体）による分離能の差異を測定した。

一般に、GLC のカラムの分離能力は理論段数にもとづく H・E・T・P・理論でなされていることは本章第 2 節で述べた。理論段数はカラムの構造や測定条件、さらには試料の種類によって大きく左右され、クロマトグラム上に現われた隣接ピーク間の分離の程度を評価するには不十分である。これらのことから、分離能による表示が提唱された²⁴⁾。すなわち、分離カラムで二つの成分ピークが分離される度合はカラムの充填剤と試料によってきまり、カラムの長さやキャリアガスの流速といったカラム効率に影響する他の要素には無関係であることから相対分離度、 S ，相対尖鋭度、 Q ，が定義された¹²⁶⁾。たとえば、図 2-31 に示すようなクロマトグラムでカラムの長さを大きくすると、各ピークは互いにひき離されるが、相対的な分離の程度は変わらない。すなわち、二成分の保持時間の比は同じで、ピークのすそが広がるために両者の分離の度合は変化しない。

隣りあっている二つのピーク X，Y の相対分離度 S_{xy} ¹²⁶⁾ は

$$S_{xy} = \frac{t_y - t_x}{t_x} \quad \dots (2-44)$$

で示される。

ここで、 t_x ；ピーク X の保持時間

t_y ；ピーク Y の保持時間、

ただし、 $t_x < t_y$

また、二つのピークが分離するためには保持時間にちがいの必要であるが、同時にピークのすそが互いに重なり合わないことが必要である。すなわち、ピークのすそ巾が狭く、ピーク形が鋭いほど

有利である。このことから、相対尖鋭度 Q は、ピーク X について

$$Q = \frac{t_x}{w_x} \quad \dots (2-45)$$

であらわされる¹²⁶⁾。ここで、 w_x ；ピーク X のすそ巾に相当する時間

相対分離度 (S) と尖鋭度 (Q) の関係を模式化すると、図 2-32 のとおりである。図の左側は $S=0.5$ で、 Q が 2 と 4 の場合を示し、右側は $Q=4$ で、 S が 0.25 と 0.5

図 2-31 クロマトグラムの模式図

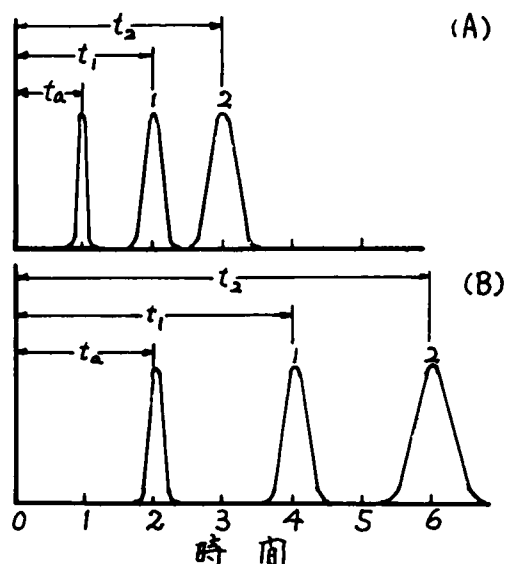
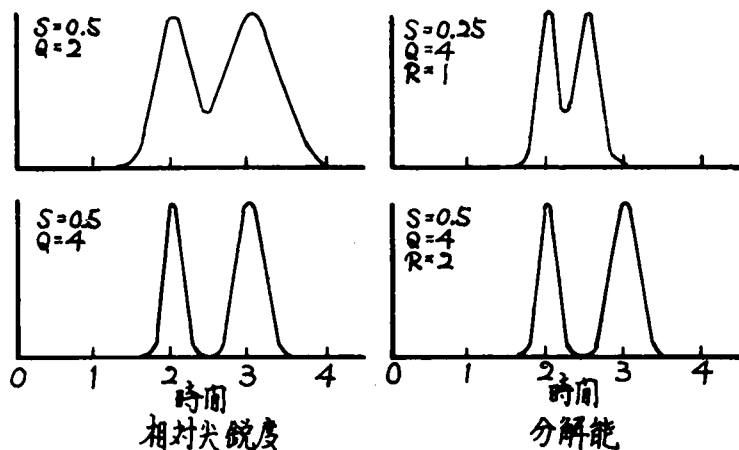


図 2-32 相対分離度の模式図



の場合を示す。保持時間が同じであってもピークのすそ巾によってクロマトグラムの形は大きく異なり、ピークのすそ巾が同じであっても保持時間比が小さいと分離が悪い。これらのことから、相対分離度と尖鋭度の積として二つのピークが分離を表わすと都合がよく、この積を分解能、 R 、と定義¹²⁶⁾された。

$$R = S_{xy} Q_x = \frac{t_y - t_x}{w_x} \quad \dots (2-46)$$

図2-32の右側の R は1および2であり、一般に、 R が0.25以上であれば二つのピークが分離は完全である¹²⁶⁾と述べられている。また、尖鋭度と理論段数 n の関係はつぎのように示される。

$$n = 16 Q^2 \quad \dots (2-47)$$

Ambroseら¹²⁶⁾は二つのピークのすそ巾の平均値を用いた合理的な分解能を求める方法として次式を提唱しており、本研究における分解能の測定にはこの方法を採用した。

$$R_{xy} = \frac{V_y - V_x}{W_y + W_x} \times 2 = \frac{t_y - t_x}{t_y + t_x} \times 2 \quad \dots (2-48)$$

ただし、 V_x ：ピークXの保持容量、 V_y ：ピークYの保持容量、 t_x ：ピークXの保持時間、 t_y ：ピークYの保持時間、 W_x ：ピークXのすそ巾、 W_y ：ピークYのすそ巾

固定相担体に fire-brick C-22 および celite 545 の10-20メッシュから180-200メッシュを

使用した分解能の成績を、各粒度の平均粒径について図2-33に示す。この場合の分解能はクロマトグラム上でも

もっとも近接した二つのピークについて求めたもので、fi-

re-brick C-22 の分解能値は celite 545

にくらべてかなり高い。これらの両担体とも平均粒径が

1.42 mm (10-20メッシュ) から小さくなるにつれて分解能値がやや大きくなり、平均粒径が0.5 mm (30-

40メッシュ) から0.274 mm (50-60メッシュ)

の範囲でもっとも高い値を示す。さらに粒径が小さくなる

(粒度が増大) と分解能値はいずれも大きく低下し、その

傾向は標準試料が芳香族、またはアルコールの場合でもほ

んど同様である。また、アルコールの場合にくらべて芳

香族成分の分解能値は両担体ともかなり低い。この差は本

章第2節でも述べたごとく分離カラムの固定相液体の極性

と溶質成分の極性の相互関係²⁴⁾にもとずく。また、担体

粒子の粒度の増大(平均粒径が小さくなる)につれて比表

面積値は増加し、その傾向は球形粒子の場合とはほぼ同様で、

粒子表面の起伏のためにかなり大きい値を示すことはさきに述べた。担体粒子の粒径が小さくなるにつれて気液接触面積が

増加するが、カラム内のキャリアーガスの流れにたいする抵抗が大きくなり、キャリアーガスの一定流量を確保するためにはカラム出入口での圧力比を大きくする必要がある。そのためにカラムの効率を大きく低下させるとWetら¹⁴¹⁾も述べて

おり、このような両効果の相殺の結果が平均粒径0.5 mm以上の場合にあらわれているものと考えられる。

同様に、他の担体粒子(celite 408, isolite N-2, isolite N-4, chromosorb P)の粒度

30-40メッシュ(平均粒径0.50 mm)および粒度90-100メッシュ(平均0.12 mm)を固定相担体としたlar-

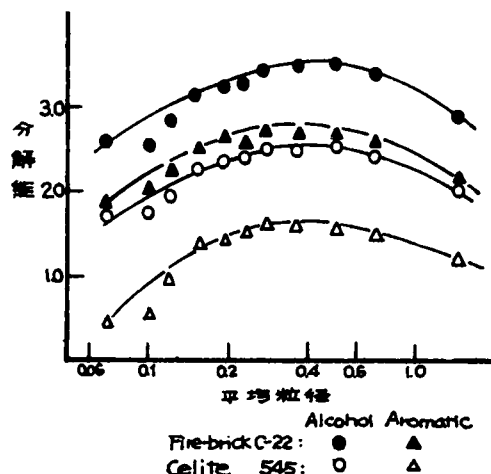
urgl phthalate カラムによる分解能の成績は表2-13に示す。表には fire-brick C-22 および celite

545を用いた場合についても記す。粒度を30-40メッシュとしてアルコール混合物を標準物とした場合の、fi-

re-brick C-22 の分解能は3.53ともっとも大きく、celite 545 が2.53でこれにつぐ。celite

408は celite 545 と大差はなく、他の担体を用いた場合の値はやや低い。標準物を芳香族とした場合の分解能値は

図2-33 平均粒径による分解能



アルコールを試料とした

表 2-13 市販担体の分解能

担 体		アル コ ール		芳 香 族	
		30-40 mesh	90-100 mesh	30-40 mesh	90-100 mesh
Fire-brick	C-22	3.53	2.85	2.70	2.25
Celite	408	2.35	2.13	1.38	1.01
Celite	545	2.53	2.00	1.59	0.96
Isolite	N-2	2.12	1.48	1.03	0.46
Isolite	N-4	1.98	1.62	0.89	0.53
Chromosorb	P	2.04	1.21	0.80	0.36

(2.70) がもっとも大きい値を示し, celite 408 (1.38) および celite 545 (1.59) がこれにつぐ。粒度が90-100 メッシュの場合

にもほぼ同様の傾向がみ

られるが, 粒度が30-40メッシュの場合にくらべていずれも分解能の値はやや低い。

珪藻土担体を使用した場合の溶質の分離効果について検討した Dimbat ら⁴⁹⁾ は, 担体粒子の表面積および細孔容積と溶質の分離能力とは無関係であり, 担体粒子のかさ比重との相互関係が大きいと述べた。すなわち, かさ比重が0.45以下の担体粒子による分離はすこぶる良好で, かさ比重値が0.65以上の担体を用いた場合にはきわめて分離が不良であると述べた。武内ら¹⁵⁾ も同様のことを述べているが, 辛島ら⁴⁸⁾ は担体の分離能とかさ比重との間には必ずしも相互関係をみとめることはできないと述べた。担体粒子のかさ比重値は平均粒径が小さくなるにつれて増大し, 比重の小さい担体ほどその値も小さいことは前述のとおりである。ここで, 本測定の結果から担体粒子のかさ比重と分解能の関係を fire-brick C-22 および celite 545 について図 2-34 に示す。

粒度10-20メッシュから180-200メッシュにおいて,

celite 545 (かさ比重, 0.244~0.391) にくらべてかさ比重値の大きい fire-brick C-22

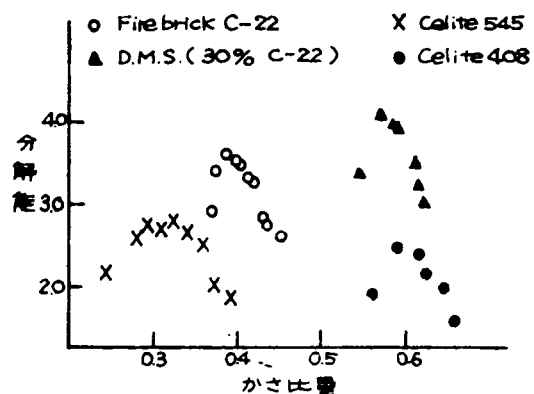
(かさ比重 0.367~0.448) は標準物質がアルコール, 芳香族のいずれの場合についても celite 545 よりもかなり大きい分解能値を示した。また, かさ比重が0.6付近の celite 408 (かさ比重 0.560~0.655) の分解能値はかさ比重が0.45以下の celite 545 とほとんど大差がない。表 2-13 からみられるようにかさ比重が0.45付近を示す isolite N-2 (0.467), isolite N-4 (0.474) および chromosorb P (0.492)

の分解能の値はきわめて小さい。これらのことから, 担体粒

子の分解能と粒子のかさ比重値の間に顕著な相互関係が存在することはみとめられない。さらに, 担体粒子のかさ比重値は粒子の容量を測定する容器によってもかなり異なることから, かさ比重にもとずく溶質成分の分離にたいする評価は適当でなく, むしろ粒子の平均粒径にもとずいて担体粒子を選定する方法が有効とみられる。本測定の結果からみれば, 担体粒子の粒度が30-40メッシュから50-60メッシュの区分が溶質成分の分離にもっとも適当とみられ, 供試担体のなかでも fire-brick C-22 を用いた場合がもっともよい分離効果を示す。

一般に, 分離カラムの固定相担体には基本的には溶質および溶媒に不活性のものがのぞまれるが, 本測定でみられたように担体の種類によって同一のカラム条件でも成分の分離効果に若干の差異があらわれる。このことはさきに述べたように担体粒子の珪殻構造, 担体の化学組成, ならびに焼結条件などにも原因すると思われるが, 担体自身も若干の吸着能をもつと推測される。このような担体の吸着能については珪藻土中に存在するアルカリ土金属, ならびにアルミナによるとされていたが, 高山⁴⁴⁾ は fire-brick C-22 および celite の場合にはアルカリ土金属やアルミナが単独に混存していることはほとんどなく, 図 2-35 に示す構造のように珪藻土の SiO₂ の骨格の一部に Al, Ca が入りこんでいること

図 2-34 かさ比重による分解能



から、アルカリ土金属やアルミナに吸着性の原因はなく、珪藻土中には水酸基が存在して、それが試料成分との間に水素結合を形成するために吸着力が生じると述べた。すなわち、シリカ骨格によるシラノール形成がこれで、水分が単に付着するのではなく、シロキサにたいしシラノールとして結合した場合には、水素結合をする物質が接触すると活量係数を大きくするような効果をもたらす、これが吸着の原因となり、成分のテーリングをひき起すと述べ、その様式を図2-36のように示した。

図2-35 珪藻土の構造

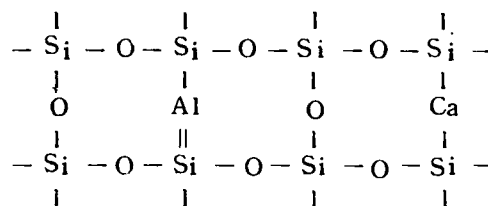
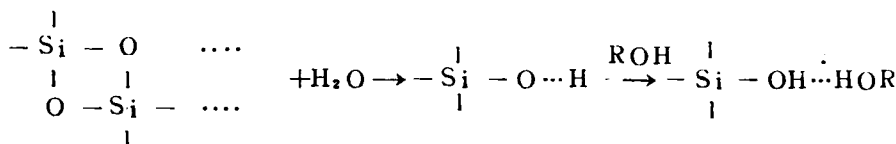


図2-36 シラノール形成の様式図

このような担体固有の吸着性と固定相液体の特性による分離機構については今後の研究がのぞまれる。



5-4 総括

本節では、大気汚染成分のガスクロマトグラフィーによる分析において、分離カラムの固定相担体の性状による分離効果について検討を行なった。使用した珪藻土担体は fire-brick C-22, celite 408, celite 545, isolite N-2, isolite N-4 および chromosorb P で、粒度は 10-20 メッシュから 180-200 メッシュである。その結果を要約すればつぎのとおりである。

1. 市販の珪藻土担体は高温焼結処理される際に水蒸気吸着能を消失するといわれているが、なお、0.05~20.8 wt % の含水率をもつ。この水分は分析効率の低下の原因となり、固定相液体を保持させる前に除去する必要がある。200℃で36時間以上の再熱処理によってほぼ除去できる。

2. 溶質の分離効率と相互関係をもつといわれている担体粒子のかさ比重値は、粒子の容積の測定法で異なる。このためカラムパイプを用いて測定した担体粒子のかさ比重は 0.244~0.625 で、平均粒径が小さくなるにつれて増大し、使用担体のなかでは celite 545 の値 (0.244~0.391) がもっとも小さく、celite 408 がもっとも大きい値 (0.560~0.655) を示した。

また、各担体について標準物質を用いて測定した分離能の成績から、担体粒子のかさ比重値と成分の分離との間には相互関係をうかがわせる事実はみとめられなかった。

3. 供試担体の真比重 (15℃) は 2.031~2.484 で、celite 545 の比重がもっとも小さく、celite 408 の値がもっとも大きい。

4. celite 545 の空隙率は 83~88 % で、celite 408 は 73~77 %, fire-brick C-22 は 81~84 % を示し、いずれも平均粒径が小さくなるにつれて空隙率も低下する傾向を示した。このことは担体粒子の粒径が小さくなると粒子形が次第に球形に近づくことを意味しており、fire-brick C-22 の形態係数を求めた結果からもこの傾向がみとめられた。

5. 供試担体の粒度 10-20 メッシュから 180-200 メッシュについての比表面積値は 0.36~60.0 m²/g で、いずれも平均粒径が小さくなるにつれて増大し、その増加傾向は粒子の形を球形と仮定した場合とほぼ同様であるが、粒子表面の凹凸のために比表面積値は球形の場合よりも非常に大きい。さらに担体粒子の比表面積値と成分の分離効果との間には一定の規則がみとめられなかった。

6. 担体粒子の粒度が 30-40 メッシュから 50-60 メッシュ (平均粒径 0.274~0.5 mm) の間で分解能はもっとも大きい値を示した。平均粒径が 50-60 メッシュよりも小さくなると、キャリアーガス流にたいする担体粒子の抵抗が大きくなるために、粒子の表面積の増大による気液接触面積の増加による効果が相殺されて分離効率が大きく低下する傾向を示した。

7. 分離能値からみると供試担体のなかでもっともすぐれた分離効果を示したのは fire-brick C-22 で、つい

で celite 545 の分離能値が大きく, celite 408 は celite 545 と大差はない。これに比べて, 他の担体の値はかなり低い。以上は, 大気汚染物のように同系成分を多く含む試料の分析においてクロマトグラム上に近接して現われる成分の分離に有効なカラムの担体条件を検討したもので, 担体粒子の種類と粒径が大きな影響を示すことを明らかにした。

しかし, 試料成分の分離にはこれらの担体条件のほかに固定相溶媒の物理, 化学的特性, 分析操作条件などの因子も大きな影響をもつことは本章第 2 節で述べた。それらの因子については現在のところ未解決の点も多く, より有効なガスクロマトグラフィー分析のために今後の研究がのぞまれる。

第 6 節 結 論

わが国の大気の汚染源として石油系燃料の燃焼廃棄物にたいする関心は近年きわめて高い。その一つである自動車からの莫大な排気ガスによる都市空気の汚染は都市公害として早急な対策がのぞまれている。排気ガス成分は比較的低い濃度で地表付近に存在し, 直接に, あるいはそれらの反応生成物がさまざまな障害を社会に与える。このような多種類で, しかも低濃度の炭化水素は従来の方法では測定が困難で, 都市の大気汚染防止のための基礎資料としてこれに関する知見はきわめて乏しかったが, 多種成分の分析に有利なガスクロマトグラフィーのこの分野への導入によって, 有機系汚染物にたいする追求は一段と進展した。しかし, 大気汚染物としての炭化水素の測定における分離カラムの固定相担体, 固定相液体の選択や測定条件などが確立されるには至っていない。

本章ではガスクロマトグラフィーによる大気汚染物質, とくに低級炭化水素の分析においてみられる二三の実際的な問題について検討することを目的として実験を行ない, より有効な捕集法ならびにカラム担体条件を見出した。

本章の概要を述べるとつぎのとおりである。

第 1 節では, 大気汚染物質の機器分析におけるガスクロマトグラフィーの意義ならびにその利害, 得失について概察した。

第 2 節では, ガスクロマトグラフィーの発展過程を述べ, 装置の概略, ならびに理論的取扱について略述した。また, 検出器の原理についての仮説, 固定相担体, 固定相液体と分離機構に関する従来の理論的考察についても言及した。

第 3 節では, ガスクロマトグラフィーによる大気汚染物の測定でもっとも特徴的で, かつ問題点の多い低濃度成分にたいする従来の試料調整法を略述した。さらに, 試料中の水分の除去や検出器性能, 従来の分離カラムについても言及した。

第 4 節では, 従来の低温濃縮法について検討し, より実際的な方法を導いた。すなわち, 従来の方法については捕集条件, 捕集トラップのサイズ, 充填物の効果などについての十分な検討がなされておらず, これらの要因による捕集効率への影響が軽視できない。このため, 比較的捕集の困難な低級炭化水素 ($C_2 \sim C_6$ 成分, 10 種) の低濃度試料を作製して, 従来の dimethyl-sulfolane トラップ法の捕集条件, トラップサイズによる捕集効果の変化を測定した。さらに, 大量の空気中からごく微量の成分を捕集するために, ガラスウールトラップの実用性についても検討を加えた。その結果, 40% (wt) dimethyl-sulfolane トラップ (fire-brick C-22, 20-30 メッシュ) により, 成分を冷却捕集する場合の吸引度を, 従来の真空度 250 mmHg とすると捕集量が不安定で, 少なくとも 160 mmHg 程度にまで減圧吸引する必要があることを示した。また, トラップ充填物の固定相担体の粒度, およびトラップの大きさが捕集量に大きな影響を示し, 粒度が 20-30 メッシュの場合がもっとも捕集効率が高く, トラップの大きさを内径が 4 mm 長さが 30 cm とした場合にもっとも高い捕集効果を示した。大気汚染レベル (0.0001-0.1 ppm) の分析では大略 3 m³ にも達する汚染空気の処理を要することも多く, このような場合にはガラスウールトラップの使用がきわめて有効で捕集効率も高く, 捕集時間の短縮や, 捕集成分の分離カラムへの移送もきわめて容易であるなどの利点が見えられ, 実際上はなほ有効である。

第 5 節では, 大気汚染物のなかで炭化水素の分析に有利な dimethyl-sulfolane カラムの固定相担体の性状と分離効果の差異を測定し, もっとも有効な担体粒子の選定を行なった。すなわち, fire-brick C-22, celite

408, celite 545, isolite N-2, isolite N-4, chromosorb P の粒度10-20メッシュから180-200メッシュについて、含水率、かさ比重、比表面積、空隙率を測定し、標準物にたいする分離能値から担体の性状と成分の分離との関係を検討した。その結果、成分ピークのテーリングや分離効率に影響する担体粒子の含水率は0.05-2.08%を示すが、200℃、36時間の加熱処理によってほぼ吸蔵水分が除去される。溶質成分の分離と相互関係をもつとされている担体粒子のかさ比重値は0.244-0.625で、その値は平均粒径の減少につれて増大し、分解能の成績から成分の分離と担体粒子のかさ比重値の間に明らかな相互関係はみられない。使用した担体の真比重(15℃)は2.031-2.484である。担体粒子の空隙率は73-88%で、いずれも平均粒径の減少につれて低下し、形態係数の変化傾向から粒径が球形に近づくことを示した。担体粒径が10-20メッシュから180-200メッシュでの比表面積値は0.36-60.0 m^2/g で、平均粒径の減少につれて増大する比表面積値は気液接触面積の増加をもたらす。溶質成分の分離効果が増すと考えられるが、分解能値と比表面積値の間には規則性はない。すなわち、粒子の平均粒径が減少するとキャリアーガスの平均粒径が0.274mm(30-40メッシュ)~0.5mm(50-60メッシュ)で分解能がもっとも大きい値を示し、平均粒径が0.50mmよりも小さくなると分解能値は大きく低下したことから、粒径減少による比表面積の増大効果をキャリアーガスの線速度勾配の増大による分離阻害の効果が上廻るためである。担体粒子の種類による分解能値にはかなり大きな違いがみられ、fire-brick C-22 がもっとも高い分離効果を示し、ついでcelite 545が高い。

以上のことから、ガスクロマトグラフィーによる低級炭化水素の分析において、従来のdimethyl-sulfolaneトラップによる捕集におけるトラップの条件は内径4mm、長さ30cm、固定相担体fire-brick C-22の粒度20-30メッシュとし、冷却吸引時の真空度は160mmHg以上とすることが必要である。一方、実際の都市空気のようにきわめて低濃度の場合には、ガラスウールトラップで大量の空気中から捕集する方法がもっとも有効である。しかし、この場合の捕集は冷却による成分の凝縮効果によるもので、dimethyl-sulfolaneトラップの場合はカラム充填剤による成分の保持能と冷却による凝縮作用とによるガラスウールトラップの捕集効率が担体充填トラップとはほぼ同程度を示し、成分の捕集には冷却凝縮作用が充填剤の保持能による捕集力よりも大きく作用するものと推測された。

さらに、クロマトグラム上に近接して現れる成分の分離と固定相担体の性状の関係について検討し、実用上もっとも有効な担体粒子の選択は担体の種類と粒子の粒度(平均粒径)にもとづくべきで、これらの要素が成分の分離に大きな影響をもつことを明らかとした。すなわち、fire-brick C-22の粒度30-40メッシュ(平均粒径0.274)から50-60メッシュ(平均粒径0.5mm)がもっとも高い分解能を示し、充填剤粒子の微細化が気液接触面積および接触時間の増大による分離効果の増進と、キャリアーガス流にたいする抵抗の増大によるカラム効率の低下をもたらす、これが成分の分離にたいして相対する作用を示し、前者の作用よりも後者の分離阻害作用が大きく影響するものと推察された。

参 考 文 献

- 1) 伊東彌白；大気汚染と制御，P 253，地人書館，東京，1961
- 2) 大気汚染研究全国協議会；大気汚染気象ハンドブック，P 482，コロナ社，東京，1965
- 3) Dickinson, J. E.; Air Quality of Los Angeles County, Technical Progress Report, II, P290, Air Pollution Control District, County of Los Angeles, 1961
- 4) Magill, P. L., Benoliel, R. W.; Air Pollution in Los Angeles County, Contribution of Combustion Products, Ind. Eng. Chem., 44(6), 1347-1351, 1952
- 5) Stern, A. C.; Air Pollution, II, P586, Academic Press, New York, 1962
- 6) Perry, W. H., Tabor, E. C.; National Air Sampling Network Measurement of SO₂ and NO₂, Arch. Environ. Health, 4, 254-264, 1962
- 7) 大気汚染全国協議会；大気汚染の測定，P 360，コロナ社，東京，1962
- 8) 荒木峻；大気汚染の機器分析，最新の分析化学 16，55-66，化学同人，東京，1965
- 9) 日本分析化学会；機器ガス分析法；P 281，共立，東京，1960
- 10) Ettre, L. S.; Application of Gas Chromatographic Method for Air Pollution Studies, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(1), 34-42, 1961
- 11) Guerrant, G. O.; Portable Instrument Based on Flame Ionization Detectors for Analysis of Air for Trace Organic Constituents, Anal. Chem., 37(4), 516-520, 1965
- 12) Nogare, S. D., Juvent, R. S. Jr.; Gas-Liquid Chromatography, P450, Interscience, Pub., New York, 1962
- 13) 舟阪渡，池川信夫；ガスクロマトグラフィー，I，P 314，広川書店，東京，1965
- 14) Phillips, C.; Gas Chromatography, P98, Academic Press, New York, 1956
- 15) 武内次夫，高山雄三；入門ガスクロマトグラフィー，P 248，南江堂，1958
- 16) Turner, W. C.; Developments in the Analysis of Hydrocarbon Gas by Means of Adsorption Fraction, Petroleum Refiner, 22(5), 140-144, 1943
- 17) Martin, A. J. P., Synge, R. L. M.; A New Form of Chromatogram, Biochem. J., 35, 1358-1368, 1941
- 18) James, A. T.; Gas-Liquid Partition Chromatography, Biochem. J. 52, 242-247, 1952
- 19) James, A. T., Martin, A. J. P.; Gas-Liquid Partition Chromatography., Analyst, 77, 915-932, 1952
- 20) Griffiths, J. H., James, D. J., Phillips, C. S. G.; Gas Chromatography, Analyst, 77, 897-904, 1952
- 21) Ray, N. H.; Gas Chromatography, J. App. Chem., 4(1), 21-25, 1954
- 22) Janak, J.; Chromatographic Semi-micro analysis of Gases, Chem. Listy, 47, 464-467, 1953
- 23) Bradford, B. W., Harvey, D., Chalkley, D.E.; The Chromatographic Analysis of Hydrocarbon Mixtures, J. Inst. Petrol., 41, 80-91, 1955

- 24) Keulemans, A. I. M.; Gas Chromatography, P234, Reinhold Pub. Co., New York, 1959
- 25) 雨宮良三; ガスクロマトグラフィー, P 179, 共立, 東京, 1960
- 26) Noguro, S. I., Bennett, E.; Programmed Temperature Gas Chromatography, Anal. Chem., 30(6), 1157-1158, 1958
- 27) Desty, D. H.; Vapour Detectors for Gas Chromatography, Nature, 180, 22-23, 1957
- 28) 武内次夫, 柘植新; ガスクロマトグラフの検出器, P 153, 東京化学同人, 東京, 1966
- 29) Bohannan, J., Purmell, J. H.; The Behavior of Katharometers for Gas Chromatography in Carrier Gases of Low Thermal Conductivity, J. Appl. Chem., 8(7), 433-440, 1958
- 30) Butler, J. N., Brokaw, R. S.; Thermal Conductivity of Gas Mixtures in Chemical Equilibrium, J. Chem. Phys., 26, 1636-1643, 1957
- 31) Harley, J., Nel, W., Pretorius, V.; Flame Ionization Detector for Gas Chromatography, Nature, 181, 177-178, 1958
- 32) Stern, O.; Combustions, Flames and Explosions, P206, Academic Press, New York, 1951
- 33) Desty, D. H., Harbourn, C. L. A.; Vapour Phase Chromatography, P436, Butterworths, Sci. Pub., London, 1957
- 34) 荒木峻, 益子洋一郎, 丸山正生; ガスクロマトグラフィー, 第3集, P 210, 南江堂, 東京, 1962
- 35) DeVault, D.; The Theory of Chromatography, J. Am. Chem. Soc., 65, 532-540, 1943
- 36) Desty, D. H.; Gas Chromatography, Nature, 179, 241-242, 1957
- 37) Johnson, H. W., Stross, F. H.; Terms and Units in Gas Chromatography, Anal. Chem., 30(10), 1586-1589, 1958
- 38) Deemter, J. J. Van., Zuiderweg, F. J., Keinkenberg, G. A.; Longitudinal Diffusion and Resistances to Mass Transfer as Causes of Nonideality in Chromatography, Chem. Eng. Sci., 5(6), 271-289, 1956
- 39) Klinkenberg, A., Sjenitzer, F.; Holding-Time Distributions of the Gaussian Type, Chem. Eng. Sci., 5(6), 258-270, 1956
- 40) 荒木峻; ガスクロマトグラフィー, P 126, 東京化学同人, 東京, 1961
- 41) Crepper, F. R., Heywood, A.; Improvements in Vapour-Phase Chromatography at Relatively High Temperatures, Nature, 174, 1063-1064, 1954
- 42) Naven, Y. R.; Nature of the Fixed Phase or of the Carrier in Gas-Liquid Partition Chromatography of Essential Oils and Aromatics, J. Soc. Cosmetic Chemists, 9(2), 101-103, 1958
- 43) James, A. T., Martin, A. J. P.; Gas-Liquid Partition Chromatography; The Separation and Microestimation of Volatile Fatty Acid from Formic to Dodecanonic Acid, Biochem. J., 50, 679-690, 1952

- 44) 荒木峻, 益子洋一郎, 丸山正生; ガスクロマトグラフィー, 第5集, P 148, 南江堂, 東京, 1963
- 45) Hull, W. Q., Keel, H., Kerny, J., Gamson, B. W.; Diatomaceous Earth, Ind. Eng. Chem., 45, 256-269, 1953
- 46) Cheshire, J. D., Scott, R. W.; Gas-Liquid Chromatography, Effect of Supports Size and Proportion of Liquid Phase on Column Efficiency, J. Inst. Petrol., 44, 74-79, 1958
- 47) Eggertsen, F. T., Groennigs, S.; Determination of 5 to 7 - Carbon Saturates by Gas Chromatography, Anal. Chem., 30(1), 20-25, 1958
- 48) 荒木峻, 益子洋一郎, 丸山正生; ガスクロマトグラフィー, 第1集, P 272, 南江堂, 東京, 1961
- 49) Dimbat, M., Porter, P. E., Stross, F. H.; Apparatus Requirements for Quantitative Application of Gas Liquid Partition Chromatography, Anal. Chem., 28(3), 290-297, 1956
- 50) 高山雄三; 高性能カラム用固定相担体について, 化学の領域, 15 (5), 369-387, 1961
- 51) Glueckauf, F.; Theory of Chromatography, Formulate for Diffusion into Spheres and their Application to Chromatography, Trans. Farady, Soc., 51(11), 1540-1551, 1955
- 52) Beynon, J. H., Clough, S., Crooks, D. A., Lester, G. R.; A Theory of the Gas-Liquid Chromatographic Process, Trans. Farady, Soc., 54(5), 705-714, 1958
- 53) Giddings, J. C., Eyring, H.; A Molecular Dynamic Theory of Chromatography, J. Phys. Chem., 59(5), 416-421, 1955
- 54) Glueckauf, F. E.; Theory of Chromatography, The Theoretical Plate Concept in Column Separations, Trans. Farady, Soc., 51(1), 34-44, 1955
- 55) Golay, M. J. E.; Vapour-Phase Chromatography and the Telegrapher's Equation, Anal. Chem., 29(6), 928-932, 1957
- 56) Hildebrand, J. H., Scott, R. L.; The Solubility of Nonelectrolytes, P488, Dover Pub. Inc., New York, 1964
- 57) Pierotti, G. J., Deal, C. H., Derr, E. L., Potter, P. E.; Solvent Effects in Gas-Liquid Partition Chromatography, J. Am. Chem. Soc., 78(13) 2989-2998, 1956
- 58) Potter, P. E., Deal, C. H., Stross, F. H.; The Determination of Partition Coefficients from Gas-Liquid Partition Chromatography, J. Am. Chem. Soc., 78(13), 2999-3006, 1956
- 59) Altshuller, A. P.; Gas Chromatography in Air Pollution Studies, J. Gas Chromatography, 1(7), 6-20, 1963
- 60) Hurn, R. W., Hughes, K. J., Chass, J. D.; Application of Gas Chromatography to Analysis of Exhaust Gas, P34, SAE, Annual Meeting, Detroit, Michigan, Jan., 1958

- 61) Feinland, R., Andreatch, A. J., Cotrupe, D. P.; Using Flame Ionization Detection, Anal. Chem., 33(8), 991-994, 1961
- 62) 小林義隆; 空气中微量成分定量のための標準ガスの簡易作製方法, 分析化学・14(2), 174-179, 1965
- 63) Altshuller, A. P., Clemons, C. A.; Gas Chromatographic Analysis of Aromatic Hydrocarbons at Atmospheric Concentrations, Using Flame Ionization Detection, Anal. Chem., 34(4), 466-472, 1962
- 64) Griswold, S. S., Wayne, L. G.; The Chemistry of Urban Atmospheres, Technical Progress Report ■, P208, Los Angeles County, Air Pollution Control District, 1962
- 65) Altshuller, A. P., Wartburg, A. F., Cohen, I. R., Sleva, S. F.; Storage of Vapours and Gases in Plastic Bags, Int. J. Air Wat. Poll., 6, 75-81, 1962
- 66) Altshuller, A. P., Cohen, I. R.; Application of Diffusion Cells to the Production of Known Concentrations of Gaseous Hydrocarbons, Anal. Chem., 32(7), 802-810, 1960
- 67) Hendricksson, E. R.; Sampling Techniques in Air Pollution Investigations, P9, American Public Health Association, 86th Annual Meeting, St. Louis, Oct., 1958
- 68) Coulson, D. M.; Hydrocarbon Compound-Type Analysis of Automotive Exhaust Gas by Mass Spectrometry, Anal. Chem., 31(5), 906-910, 1959
- 69) Eggertsen, F. T., Nelsen, F. M.; Gas Chromatographic Analysis of Engine Exhaust and Atmosphere, Anal. Chem., 30(6), 1040-1043, 1958
- 70) Quiran, E. R., Biller, W. F.; Determination of Trace Quantities of Hydrocarbon in the Atmosphere, Anal. Chem., 30(7), 1166-1171, 1958
- 71) Shepherd, M., Rock, S. M., Howard, R., Stormes, J.; Isolation, Identification and Estimation of Gaseous Pollutants of Anal. Chem., 23(10), 1431-1440, 1951
- 72) Hendrickson, E. R.; Air Pollution Sampling and Analysis, P3, Southern Pulps and Paper Manufacture, Sept., 1959
- 73) Boggus, J. D., Adams, N. G.; Gas Chromatography for Trace Analysis, Anal. Chem., 30(9), 1471-1473, 1958
- 74) Houser, E. A., Chapman, R. L.; Effect of Sampling System Temperature on Total Hydrocarbons Measurement in Auto Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(11), 535-537, 1963
- 75) Altshuller, A. P., McPherson, S. P.; Spectrophotometric Analysis of Aldehyde in Los Angeles Atmosphere, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(3), 109-111, 1963
- 76) Baker, R. A., Doerr, R. C.; Methods of Sampling and Storage of Air Containing Vapours and Gases, Int. J. Air Poll., 2, 142-158, 1959

- 77) Wilson, K. W., Buchberg, H.; Evaluation of Materials for Controlled Air Reaction Chambers, Ind. Eng. Chem., 50, 1705-1708, 1956
- 78) 多田治;自動車排気と大気汚染,労働科学,41(10),481-492,1965
- 79) Conner, W. D., Nader, J. S.; Air Sampling with Plastic Bags, J. Am. Ind. Hyg-Assoc., 25(3), 291-297, 1964
- 80) Altshuller, A. P.; Air Pollution, Anal. Chem., 37(5), 11R-20R, 1965
- 81) 庄司光,山本剛夫,西田耕之助,八木康雄,高田進;し尿の臭気成分ならびに消化ガスの測定,日本衛生学雑誌,22(2),354-369,1967
- 82) Hughes, E. E., Gordon, Jr. R.; Determination of Acetylene in Air Concentrations from Ten Parts Per Billion to Ten Parts Per Million, Anal. Chem., 31(1), 94-98, 1959
- 83) West, P. W., Sen, B., Gibson, A.; Gas-Liquid Chromatographic Analysis, Applied to Air Pollution, Sampling, Anal. Chem., 30(8), 1390-1397, 1958
- 84) Turk, A., Dangis, C. J.; Composition of Natural Fresh Air, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(1), 29-33, 1962
- 85) Turk, A., Morrow, J. I., Kaplan, B. E.; Olefin Isomerization in Adsorptive Sampling on Activated Carbon, Anal. Chem., 34(4), 561-564, 1962
- 86) 加藤龍夫;活性炭吸着濃縮による都市空气中自動車排気ガス測定法,分析化学,15(1),14-19,1966
- 87) Cropper, F. R., Kaminsky, S.; Determination of Toxic Organic Compounds in Admixture in the Atmosphere by Gas Chromatography, Anal. Chem., 35(6), 735-744, 1963
- 88) Elkins, H. B., Pagnotts, L. D., Compton, E. M.; The Ultra violet Spectrometric Determination of Benzene in Air Samples Adsorbed on Silicagel, Anal. Chem., 34(13), 1797-1801, 1962
- 89) Bellar, T. Sigsby, J. E., Clemons, C. A., Altshuller, A. P.; Direct Application of Gas Chromatography to Atmospheric Pollutants, Anal. Chem., 34(7), 763-765, 1962
- 90) Altshuller, A. P., Bellar, T. A., Clemons, C. A.; Concentration of Hydrocarbons Silicagel Prior to Gas Chromatographic Analysis, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 23, 164-166, 1962
- 91) 荒木峻,加藤龍夫;高沸点大気汚染成分のガスクロマトグラフィーによる分析,分析化学,12(11),1027-1032,1963
- 92) Neligan, R. E.; Hydrocarbons in Los Angeles Atmosphere, Arch, Environ. Health, 5, 581-591, 1962
- 93) 庄司光,山本剛夫,西田耕之助;ガスクロマトグラフによる大気汚染物測定に関する研究,低級炭化水素成分の捕集について,土木学会論文集,91,25-33,1963
- 94) 菅野三郎,小林義隆,加藤龍夫;ガス状汚染物質の測定,分析化学,12(11),1081-1097,1963

- 95) Altshuller, A. P., Beller, T. A.; Gas Chromatographic Analysis of Hydrocarbons in the Los Angeles Atmosphere, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(2), 81-87, 1963
- 96) Beller, T. A., Brown, M. F., Sigsby, Jr. J. E.; Determination of Atmospheric Pollutants in the Part Per Billion Range by Gas Chromatography, A Simple Trapping System for Use with Flame Ionization Detector, Anal. Chem., 35(12), 1924-1927, 1963
- 97) Heaton, W. B., Wentworth, J. T.; Exhaust Gas Analysis by Gas Chromatography Combined with Infrared Detection, Anal. Chem., 31(3), 349-357, 1959
- 98) Hughs, K. J., Hurn, R. W.; A Preliminary Survey of Hydrocarbons Derived Oxygenated Materials in Automobile Exhaust Gases, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(5), 367-371, 1960
- 99) Kuley, C. J.; Gas Chromatographic Analysis of C₁ to C₄ Hydrocarbons in the Part per Million Range in Air and in Vaporized Liquid Oxygen, Anal. Chem., 35(10), 1472-1475, 1963
- 100) Chipman, R. L.; An Inspection Method for Automobile Hydrocarbon Emission, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(6), 463-464, 1960
- 101) Robinson, I. C. H.; Hydrocarbon Detector, Rapid-Response Instrument of Monitoring the Emission in Engine Exhaust Gas, Aut. Eng., 6, 55-58, 1965
- 102) Morris, R. A., Chapman, R. L.; Flame Ionization Hydrocarbon Analyzer, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(10), 467-469, 1960
- 103) Darley, K. F., Keltner, K. A., Stephens, E. R.; Analysis of Peroxyacyl Nitrates by Gas Chromatography with Electron Capture Detection, Anal. Chem., 35(4), 589-591, 1963
- 104) Neligan, R. E., Mader, P. P., Chambers, L. A.; Exhaust Composition in Relation to Fuel Composition, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(4), 179-186, 1961
- 105) Nobel, H. J.; Gas Chromatography, P463, Academic Press, New York, 1959
- 106) Linnelle, R. H., Scott, W. E.; Diesel Exhaust Analysis, Arch. Environ. Health, 5, 616-625, 1962
- 107) Patton, H. W., Lewis, J. S., Kaye, I.; Separation and Analysis of Gases and Volatile Liquids by Gas Chromatography, Anal. Chem., 27(2), 170-174, 1955
- 108) Lichtenfels, D. H., Fleck, S. A., Burow, F. H.; Gas-Liquid Partition Chromatography, Anal. Chem., 27(10), 1510-1513, 1955
- 109) Hoffman, R. L., Evans, C. D.; Gas Solid Chromatography of Hydrocarbons on Activated Alumina, Anal. Chem., 33(10), 1309-1313, 1966
- 110) Schwartz, R. D., Brasseaux, D. J.; Resolution of Complex Hydrocarbon Mixtures by Capillary Column Gas Liquid Chromatography, Anal. Chem., 35(10), 1374-1382, 1963

- 111) Haagen-Smit; Chemistry and Physiology of Los Angeles Smog, Ind. Eng. Chem., 44(6), 1342-1347, 1952
- 112) Florida Engineering and Industrial Experiment Station, Florida State Board of Health; Atmospheric Pollution, P59, University of Florida, Bulletin NO. 83, 1956
- 113) Meethan, A. R.; Atmospheric Pollution, P301, Pergamon Press, New York, 1964
- 114) Griswold, S. S.; Technical Progress Report, I, Control of Stationary Sources, P179, Air Pollution Control District, County of Los Angeles, 1960
- 115) Chamber, L. A.; National Conference on Air Pollution, Public Health Rept., 74(5), 416-417, 1959
- 116) Goldsmith, J. R., Roger, L. H.; Health Hazards of Automobile Exhaust, Public Health Rept., 74(6), 551-558, 1959
- 117) Dept. Public Health, State of California; Standards for Ambient Air Quality and Motor Vehicle Exhaust, P11, Adopted by the California State Board of Public Health on Friday, December 4, 1959
- 118) Mader, P. P., Gliksman, J., Eye, M., Chambers, L. A.; Photochemical Formation of Air Contamination from Automobile Exhaust Vapours, Ind. Eng. Chem., 50(8), 1173-1174, 1958
- 119) Fredericks, E. M., Brooks, F. R.; Analysis of Gaseous Hydrocarbons by Gas Liquid Partition Chromatography, Anal. Chem., 28(3), 297-303, 1956
- 120) 庄司光・山本剛夫・西田耕之助; 自動車排気ガスによる大気汚染の研究, C₂-C₆炭化水素の捕集およびガスクロマトグラフ分析, 日本衛生学雑誌, 17(1), 29-30, 1962
- 121) 有機合成化学協会; 有機化学ハンドブック, P1551, 技報堂, 東京, 1960
- 122) Quiran, E. R., Metro, S. J., Lewis, J. B.; Determination Hydrocarbon Gases as Air Contaminants, Anal. Chem., 26(2), 352-354, 1954
- 123) 入谷辰男・森下陽之; ガスクロマトグラフィーによる溶剤および空気中のベンゼン, トルエン, キシレンの定量法, 産業医学, 2(6), 502-511, 1960
- 124) Madison, J. J.; Analysis of Fixed and Condensable Gases by 2 Stage Gas Chromatography, Anal. Chem., 30(11), 1859-1862, 1958
- 125) Ellis, C. F., Kendall, R. E., Eccleston, B. H.; Identification of Some Oxygenates in Automobile Exhaust by Combined Gas Liquid Chromatography and Infrared Techniques, Anal. Chem., 37(4), 511-516, 1965
- 126) Ambrose, D., Ambrose, B. A.; Gas Chromatography, P220, George Newnes Limited, London, 1961
- 127) Coats, V. J., Nobels, H. J.; Gas Chromatography, P328, Academic Press, New York, 1958
- 128) Dolphin, J. L., Stanley, T. W.; Vapour-Phase Chromatography in Air Pollution Studies, Column Evaluation, 131st National, A.C.S. Meeting, NO.92, P36, Miami, Florida, Apr., 1957

- 129) Madison, J. J.; Analysis of Fixed and Condensable Gases by 2 Stage Chromatography, Anal. Chem., 30(11), 1859-1862, 1958
- 130) Knight, H. S.; Gas Chromatography of Olefins, Determination of Pentenes and Hexenes in Gasoline, Anal. Chem., 30(1), 9-15, 1958
- 131) 庄司光, 山本剛夫, 西田耕之助; 自動車排気ガスによる大気汚染の研究, カラム固定相担体による分解能について, 日本衛生学雑誌, 19(1), 89, 1964
- 132) 西田耕之助; ガスクロマトグラフによる大気汚染物測定に関する研究, 固定相担体の分解能について, 土木学会誌, 50(3), 73-74, 1965
- 133) 渡辺隆; 土質調査および土質試験法, P300, 技報堂, 東京, 1962
- 134) 久保輝一郎, 水渡英二, 中川有三, 早川宗八郎; 粉体, P938, 丸善, 東京, 1962
- 135) Jones, W. L., Kieselbach, R.; Unite of Measurement in Gas Chromatography, Anal. Chem., 30(10), 1590-1592, 1958
- 136) Scott, R. P. W.; Gas Chromatography, P423, Butterworths, Sci. Pub., London, 1960
- 137) 当山道三; 土質力学, P230, コロナ社, 東京, 1962
- 138) 亀井三郎; 基礎化学工学, P516, いずみ書房, 京都, 1962
- 139) Nelsen, F. M. Eggertsen, F. T.; Determination of Surface Area, Adsorption Measurements by Continuous Flow Method, Anal. Chem., 30(8), 1387-1390, 1958
- 140) Ettre, L. S.; The Effect of the Surface Area on the Separation in Gas Liquid Partition Chromatography, J. Chromatography, 4, 166-168, 1960
- 141) Wet, W. J. E., Pretorius, P.; Some Factor Influencing the Efficiency of Gas Liquid Partition Chromatography Column, Anal. Chem., 30(2), 325-329, 1958

第 三 章

自動車排気中の低級炭化水素の研究

緒 言

石炭などの燃焼によるロンドン型とは全く異なった大気汚染が1948年以降のロスアンゼルスで頻発した。¹⁾すなわち、視程の減少、眼の刺激、植物損傷、およびゴムの腐蝕を特徴とする汚染で、その原因が石油系燃料の燃焼生成物の光化学作用によるオキシダントにあること²⁾から、ロスアンゼルススモッグとして一躍脚光をあびるに至った。以来、多くの研究、調査³⁾から、汚染源として自動車の排気が注目され、1959年にカリフォルニアで自動車排気の排出規制が実施された。⁴⁾この地域の全汚染源からの炭化水素の80%以上、COの90%、窒素酸化物の半分以上が自動車によるとされ、その有効な制御で大気汚染の防止がほぼ達成されると述べられた。⁵⁾このような光化学スモッグが米国の他都市でも発生し、⁶⁾1968年から全米にわたる排出規制が実施され、⁷⁾西ドイツ、フランスならびにイタリアなどでも、排出規制の気運が高まっている。⁸⁾

一方、わが国では近年の自動車交通の増加は著しく、都市の過密化による現象は都市公害として早急な対策がのぞまれている。⁹⁾わが国の大気汚染は産業廃気によるばいじん、亜硫酸ガスなどが主で、自動車排気による汚染は局所的にすぎず、その重要性はきわめて低いとの主張¹⁰⁾もみられる。しかし、各種の実態調査^{11) 12)}で自動車排気の影響が顕著にみとめられており、汚染源として排気ガスを無視することはできない。このような大気汚染の防止と、自動車の対米輸出の両面から、わが国も1967年から排出規制が実施された。⁹⁾

自動車排気による大気汚染の推定と、その防止には、排気成分にたいする十分な基礎資料が必要で、米国では多くの研究がなされているが、排気は諸種の要因で大きく異なること、および全成分の測定方法が確立されていないことから基礎資料としては不十分な点が多い。カリフォルニアおよび全米の連邦規則¹³⁾(Federal Register)では、比較的測定の容易なn-hexaneを炭化水素の代表値に、COを人体に有害成分として非分散型赤外分析計、(NDIR)、またはこれに相当する方法で評価するように規定され、わが国のJIS規格もこれと同様に定められた。¹⁴⁾しかし、NDIRは光化学スモッグ生成に関与する不飽和炭化水素の検知能が低く、水分やCO₂などの妨害作用もきわめて大きいことなどから、スモッグポテンシャルの評価には適当でない点が多く、今日ではガスクロマトグラフィー (GLC) がもっとも有効とされている。¹⁵⁾

自動車の諸要因と排気変化の研究は処理装置の開発とともに、米国でさかんに行われている。¹⁶⁾米国では、対象とされるエンジンの気筒容積が、4,000~8,000ccと大きく、わが国やヨーロッパとは大きく異なる。すなわち、生産車の気筒容積別構成¹⁷⁾は英国(1958年)では1,600cc以下が73%、フランスでは1,500cc以下が89.9%、西ドイツでは1,000~2,000ccが75.1%で、わが国¹⁸⁾(1965年)では360cc以下が13.5%、360~1,000ccが18.9%、1,000~1,500ccが49.5%、1,500~2,000ccが17.6%、2,000cc以上が0.5%で、大部分が中小型車である。そのうえ、道路事情や運転様式なども米国とは大きく異なるが、わが国の場合についての研究はきわめて少ない。

本章では、大気汚染防止のための基礎資料をえることを目的として、都市街路で国産車の運転条件を系統的に制御し、排気成分の変化について実験的研究を行なった。

第 1 節 自動車排気に関する従来の研究

は じ め に

自動車排気については米国で多くの研究がされているが、わが国での研究はきわめて少ない。本節では、主として米国の研究の概略を経年的に述べる。

1-1 排 出 量

Magill ら¹⁹⁾ (1952) は排気の排出量が運転条件で異なると述べ、Haagen-Smit²⁰⁾ は、1952年のロスアンゼルスで、自動車の炭化水素排出が1,000~2,000 トン/日で、その光化学作用でスモッグが生成すると述べた。Leslie²¹⁾ は、1959年のロスアンゼルスでは275万台が1日に550万ガロンのガソリンを消費する。自動車は1,000ガロンのガソリンからCO 320 lb、有機物200~400 lb、窒素酸化物25~75 lb、アルデヒド18 lb、硫黄化合物17 lb、固体0.3 lbを排出すると述べた。Linville ら²²⁾ (1960年) は、ロスアンゼルスの全排出源からの排出量(トン/日)にたいして、自動車占める割合は炭化水素66%、有機物15%、窒素酸化物61%、CO 78%、硫黄化合物10%であると述べた。Chass ら²³⁾ は1960年の同地域ではガソリン車が約311万台、ディーゼル車が約9,000台で、ガソリン消費量は約610ガロン/日、ディーゼル燃料の消費量は約10万ガロン/日である。自動車からの排出量(トン/日)を表3-1のようで、ガソリン車の排気が大気汚染に重要な位置を占めると指摘した。

表 3 - 1

ロスアンゼルスにおけるガソリン車とディーゼル車からの排出²³⁾ トン/日

汚染源	炭化水素	アルデヒド とケトン	有機ガス	CO	窒素 酸化物	SO ₂	エアロゾル
自動車	740	9	12	6,850	250	20	24
バスとトラック	270	3	4	2,000	95	8	9
バスとトラック(ディーゼル車)	4	0.5以下	0.5以下	3	4	1	1
合 計	1000	12	15	8,850	350	30	35

気化器および燃料タンク損失は含まない。

Rose ら²⁴⁾ は地理的条件の異なった8都市の道路を分類し、路線によって排気成分、燃料消費、走行速度、気液率かなり異なることを述べた。1961年型車(7台)の走行から路線により所要出力、排出量が異なる。商業路では停止-発進の回数が多く、炭化水素の排出量も大きい。フリーウェイではほとんどが定速で排出量をもっとも少なく、他の路線はこの中間である。排気オレフィンの傾向はn-hexaneと同様ではないが、燃料組成が大きく関係するからロード条件では排気のオレフィン含量には大差がないと述べた。Jensen²⁵⁾ は都市走行での排出量はガソリン車はCO 2 ft³/h、窒素酸化物5.4 ft³/h、炭化水素0.47 lb/hで、ディーゼル車ではCO 19.4 ft³/h、窒素酸化物3.8 ft³/h、炭化水素1.24 lb/hである。ガソリン車からの炭化水素は50~65%が排気、25~35%がクランクケースからで、5~15%が燃料タンクや気化器からの蒸発損失である。COは98~99%が排気、1~2%がクランクケースからで、窒素酸化物は98~99%が排気、1~2%がクランクケースからの排出である。また、ディーゼル車では燃料の蒸発損失は無視でき、クランクケースからは供給燃料の0.0014~0.052%が排出され、ガソリン車の1/50程度であると述べた。Colucci ら²⁶⁾ はデトロイト市内で、排気タール分からbenzo-(a)-pyrene, benzo-(a)-anthraceneを検出した。

Rose ら²⁷⁾ は、ロスアンゼルスとシンシナティーで1955~1963年型車300~400台により市内走行時の排気を

測定した。1マイルあたりの排出量は両市とも道路特性にはほとんど関係なく、炭化水素、COおよびCO₂の排出量(lb/mile)は平均車速のべき函数($Y = AX^b$; Yは排出量lb/mile, Xは平均車速mile/h)であらわれ、両市間には統計的に差がない。交通量のピーク時とオフピーク時も同様の関係がある。ロスアンゼルスハイウェイ(4.97mile)でのオフピーク時には平均車速が45.2mphで、炭化水素濃度は3,210 ppm-C(FIA法での測定値に平均炭素数を乗じた値)(排出量0.00591 lb/mile), CO濃度は1.62% (排出量は0.0612 lb/mile)である。ピーク時は平均車速が23.0mphで、炭化水素濃度は4,790 ppm-C(排出量は0.00909 lb/mile), CO濃度は2.68% (排出量は0.1040 lb/mile)である。このことから、ピーク/オフピークの排出量比は炭化水素で1.54, COで1.70を示すと述べた。

Hoveyら²⁸⁾はガソリン1,000galあたりの炭化水素の排出量が、排気ガスとして205 lb, クランクケースから145 lb, 燃料タンクと気化器から35 lbで、SO₂は燃料のS含量(0.04%)から5 lb/1,000galで、NO_xは25~212 lb/1,000galである。194台の(ロスアンゼルステストサイクル, ホット)室で、炭化水素濃度882 ppm, 平均混合気流24 ft³/min, 平均燃料消費料8.3 lb/hで、排気ガス量は217 lb/1,000galを示し、コールドスタートからの排気ガス量は236 lbを示すと述べた。さらに、排気中の有機物は酢酸として4 lb/1,000galで、アルデヒドはフォルムアルデヒドとして10 lb/1,000galで、アンモニアは2 lb/1,000gal以下であると述べた。McMichaelら²⁹⁾はコールドスタートとホットスタートによる排出量と測定した。冬期でのコールドスタートはホットスタートより炭化水素排出量が約50%増大し、CO排出量は約90%増加し、CO₂と窒素酸化物は大差がない。夏期のコールドスタートによる排出量は炭化水素がホットスタートより約20%, COは約40%増加するが、冬期ほど著しくはなく、CO₂, 窒素酸化物はコールド, ホットとも大差はないと述べた。

McHugh³⁰⁾は1967年のカリフォルニアでは、約700万台の全てが条例でクランクケース排出防止装置をつけ、100万台が排気ガス防止装置をつけている。このために、1日あたり50万ガロンの未燃焼ガソリンと2,400トンのCOの排出が防止されている。しかし、この程度では湾地域の大气汚染の1/3程度の軽減にしかならず、大气中の反応性有機物の67%と窒素酸化物の58%はまだ自動車排気による。この地区だけでも1975年には270万台から有機物・512トン/日, NO_x405トン/日, CO3900トン/日, SO_x28トン/日, 粒子54トン/日が排出されると推測し、排気ガス規制の徹底と強化を提唱した。

以上は、自動車からの排出量にたいする米国での研究の概略で、都市全域の汚染度を推測するために検討され、概算的な数値が多く、車種、走行路、運転条件などの要因を系統的に規定して検討されたものはきわめて少ない。

1-2 自動車の排気組成

ロスアンゼルススモッグの分析が1950年頃から行われ、Shepherdら³¹⁾はスモッグおよびトラック(アイドル)の排気をMSで分析した。また、無機ガスの測定にオルザット法よりもAcoustic Gas AnalyzerがすぐれているとWeller³²⁾が述べた。Westら³³⁾はGLCで排気を分析し、19成分を検出した。Goldsmith³⁴⁾は、一般的な排気組成(V/V%)はアルデヒド0~0.03%, CO₂5~15%, CO0.2~1.2%, 炭化水素0.01~2%, H₂0~4%, 鉛化合物1%, N₂78~85%, 窒素酸化物0~0.4%, O₂0~4%, SO₂2%, 水蒸気5~15%であると述べた。その後、排気の不飽和炭化水素、窒素酸化物などが光化学スモッグに大きく関係すること²⁾から、個々の成分が測定され、機器分析法の進歩、とくにGLC導入によって成果は一層拡大された。

Eggertsenら³⁵⁾は、GLCで排気から490 ppm(wt)のC₂~C₅炭化水素16成分を検出し、重量比による排気組成はethylene 48.6%, acetylene 25.8%, propane + N₂O, propylene 6.7~7.3%, ethane, propadiene, n-pentane + 3Me-1-butene, pentene-1+propyne 1.5~2.7%, その他の成分は0.5~1.0%であると述べた。Parsonら³⁶⁾はCO₂濃度について述べ、Coulson³⁷⁾は1955年型車の排気をMSで測定し、アイドル850 ppm(120), 加速1,030 ppm(100), 減速4720 ppm(140),

定速880 ppm (100) の炭化水素 (C₁~C₈, cyclo, aromatic) を検出した。() 内は芳香族の値である。

Ileaton ら³³⁾ は、1957年型車(2台)について測定し、炭化水素19成分がアイドル1,815 ppm, 加速670 ppm, 定速919 ppm, 減速6,534 ppm で、COがアイドル8.05%, 加速3.30%, 定速2.80%, 減速7.50%である。炭化水素の割合は加速1:減速0.7:アイドル2:減速7.1であると述べ、排気中の未燃焼炭化水素を燃料分子量98, 平均炭素数7として次式から求めた。

$$\text{未燃焼炭化水素 (供給燃料にたいする重量\%)} = \sum [\text{炭化水素 Vol\%} \times \text{分子量}] \times \frac{\text{燃料の平均炭素数} \times 100}{\text{全炭素 (Vol\%)} \times \text{燃料の分子量}} \dots\dots (3-1)$$

Hurn ら³⁹⁾ は GLC 法について検討し、Chipman ら⁴⁰⁾ は、走行中に排気を一定の割合で採取するプロポーショナルサンプリング系を述べ、自動車の運転条件を定義した。さらに、各条件での排気ガス量と炭化水素、CO, およびCO₂の濃度を測定し、運転時間比(アイドル19.9%, 加速21.1%, 定速35.2%, 減速23.8%)から算出した値と、プロポーショナルサンプラーによる値を比較して表3-2(B)のように、両者にほとんど大差がないと述べた。表の(A)は

表3-2 プロポーショナルサンプリング法による排気測定⁷⁰⁾

(A) 運転条件別の排気				
運転条件	排気ガス 排出量 秒分	H-C ppm	CO ₂ %	CO %
アイドル	6.2	780	9.9	2.9
加速	62.2	350	9.9	4.3
定速	33.4	350	10.6	3.8
減速	6.9	3100	7.4	4.1

(B) プロポーショナルサンプリングによる実際と合成サイクルの比較		
	合 成 値	実 際
炭化水素, ppm	530	580
CO ₂ , %	10.0	10.7
CO, %	4.0	3.8
燃料消費量, ガロン	1.68	1.61
気流量	14.2	13.7
炭化水素濃度 (hexane 比)	2.60	2.73
燃料燃焼効率, wt%		
排気ガス排出量 秒分	27.8	25.6
(1) 平均	11.50	11.10
(2) 重量ベースのガロンあたり		

各運転条件別について測定した値である。

1959年にカリフォルニアでは大気汚染防止のために、州の大気質に関する基準⁴⁾(Air Quality Standard)を定め、11個の運転条件からなるテスト基準と排出許容値(CO 1.5%, 炭化水素275 ppm, n-hexane)が規定され、測定方法もNDIR, またはそれに相当する方法とされた。NDIRは炭化水素の相対感度が異なり、大気汚染レベルの濃度には感度が不足するから、水素焰イオン化方式のFIAが提唱⁴¹⁾された。FIAは炭化水素のモル感度がほぼ等しく、水分、CO₂, CO, 不活性ガスによる妨害を受けないから非常に有利とされている。⁴²⁾ Chass ら²⁵⁾ はカリフォルニアの交通量と交通流から、ハイウェイ、幹線、商業、住宅路からなる平均的走行路線を規定した。各路線の走行モードの時間比の測定と排出量から、自動車排気の大気汚染に占める貢献度を検討した。その際にもっとも平均的な自動車排気組成として示した値は表3-3のとおりで、Linvell ら²²⁾の値と同様である。また、Linvell ら²²⁾は運転条件をChipman⁴⁰⁾と同様に定義し、エンジンの出力と回転数は気液率に支配され、定速は気液率15:1付近で炭化水素の排出が少なく、N-oxideは大である。加速は気液率12.5:1付近で炭化水素が増し、N-oxideは減少する。水冷式エンジンでは壁面クエンチングを生じて炭化水素濃度が増大し、その傾向は減速で最も大きく自動車のモードや型には無

表3-3 自動車排気の典型的組成²³⁾

自動車排気の典型的組成 ²³⁾				
測定項目	運転条件			
	アイドル	加速	定速	減速
炭化水素 (hexane) ppm	800	540	485	5000
“ 範囲(hexane) ppm	300-1000	300-800	250-550	3000-12000
Acetylene, ppm	710	170	178	1096
Aldehydes, ppm	15	27	34	199
窒素酸化物 (NO ₂), ppm	23	1543	1270	6
“ 範囲(NO ₂), ppm	10-50	1000-4000	1000-3000	5-50
CO %	4.9	1.8	1.7	3.4
CO ₂ %	10.2	12.1	12.4	6.0
O ₂ %	1.8	1.5	1.7	8.1
排気ガス量 ft ³ /分	8.0	60	35	8
“ 範囲 ft ³ /分	5-25	40-200	25-60	5-25
排気温度範囲, °F (マフラー入口)	300-600	900-1300	800-1100	400-800
燃料消費率 ガロン/時	0.495	3.39	1.94	0.495
供給燃料あたりの 未燃炭化水素 wt %	2.88	2.12	1.95	18.0

関係である。さらに、この地域の平均的走行モードの時間比はアイドル19%、加速19%、定速37%、減速25%で、全炭化水素の排出割合は5% (wt) がアイドル、26% (wt) が加速、27% (wt) が定速、42% (wt) が減速で占めると述べた。

Feinland⁴⁵⁾ は GLC により C₁ ~ C₆ 炭化水素 (24成分) が 40 mph 定速で 1,511.2 ppm (V/V) を示し, methane, ethane + ethylene および acetylene が全体の 77% を占め, n-hexane は 12.1 ppm とさわめて低いと述べた。Smith⁴⁴⁾ は、プロポーショナルサンプラーは不適当で、シャーシダイナモメーターでの全排気をマイラーバッグに採って分析した。1960年型車14台 (走行距離約839~12,255マイル、排気量292~352m³) を用い、50 mph 定速で n-hexane 201 ppm, CO 0.7 mol%, CO₂ 13.1 mol%, アイドルで n-hexane 428 ppm を示し、走行サイクル (1956年の調査による) の全体では n-hexane 353 ppm, CO 1.76 mol%, CO₂ 12.2 mol% であったと述べた。Mader⁴⁵⁾ は排気中の C₁ および高分子のオレフィンの測定に紫外中の free tribromide ion の高分子吸着を利用する方法を述べ、排気オレフィンの濃度が 82~87 ppm から 307~319 ppm と燃料 (7種) によって大きく異なることを述べた。

Altshuller⁴⁶⁾ は大気汚染レベルの芳香族の GLC 測定を述べ、定速と減速の混合排気から C₆ ~ C₁₀ 芳香族 (13種) 約 60 ppm を検出した。なかでも xylene (129 ppm) と toluene (8 ppm) が大で、燃料の toluene と benzene の比 5:1 が排気で 2:1 に変化することを指摘した。また、自動車排気を 500~2,000 倍に稀釈した GLC のパターンから、米国の西海岸地域で激しく汚染された大気は自動車排気を 1,000~2,000 倍に稀釈した状態に相当すると述べた。Neligan⁴⁷⁾ も GLC により排気平均組成はパラフィン 21.1%, オレフィン 16.3%, アセチレン 23.9%, ジオレフィン 1.9%, 芳香族 9.5%, ナフテン 1.3%, 混合化合物 2.1% であると述べた。King⁴⁸⁾ は排気分析法について考察し、連続測定の点から NDIR と FIA が有利であるが、スモッグポテンシャルの観点からは FIA および GLC がもっとも有効であると述べた。Hughes⁴⁹⁾ も GLC 法について述べた。

Rose⁵⁰⁾ は、気液率が小さいとき、低速の定速時、低加速度時は CO 濃度が増大し、アイドルと減速で CO 濃度が最大で、CO₂ 濃度は CO と反対である。CO の排出量は加速が最大で、定速がこれにつき、アイドルと減速がもっとも少ない。N-oxide は主に気液率に支配され、気液率 1.5~1.7 で最大となり、さらに大きい気液率では減少する。また、点火タイミングの進み、マニホールドバキュームの低下、高圧縮比で増加し、出力、サイクルピーク温度にも関係する。スロット

ル半開加速は気液率が大きく、点火タイミングが早く、バキウムが定速よりも低いためにN-oxide濃度が高い。スロットル全開加速は気液率が小さく、点火タイミングが遅く生成量が少ない。N-oxideの排出量は濃度と同じ傾向を示す。炭化水素濃度は負荷、マニホールドに影響され、減速は20 inHg 以上で著しく高濃度となる。マニホールドが19 ~ 20 inHg 以下ではサイクルピーク温度、圧力が混合気の完全燃焼に近い状態となって、炭化水素濃度が低い。定速と加速では供給燃料の1~5%, バキウムが21.5 inHg をこえる減速では供給燃料の5~20%が排出される。高速回転からの減速では排出割合が非常に大きく、トランスミッションの手動、自動には差がない。気化器の調整が悪いときや、点火栓の故障で炭化水素濃度が増し、点火タイミングの不調時と同様に約2.5倍となる。炭化水素の排出量は濃度とは逆に定速と加速でもっとも大きいと述べた。

Hurn⁵⁹⁾ は、NDIRは炭化水素のタイプで応答が異なるから、FIAがもっとも有効であると述べ、排気のCOは気液率に左右され、濃厚燃料でCOが増し、アイドル、加速および高出力時にはCO濃度が1~8%となる。N-oxideはアイドルで50 ppm、高出力時には約500 ppm であると述べ、シャーシーダイナモメーターによる測定値を示した。その際、炭化水素をppm 値に平均炭素数(3)を乗じたppm-Cで示した。NDIRは全炭化水素値の1/5~1/6 程度しか検知されないこと、排気組成の変化が大きいことから適当でないと述べた。また、加速と減速の経過時間と濃度変化についても測定し、炭化水素ははじめの3秒間の値が高く、次第に減少して一定値となる。CO濃度は加速時はほとんど変化がなく、減速では時間の経過につれて増加すると述べた。Barber⁵¹⁾ はcarbonylの測定法を述べ、排気からmethyl-ethyl-ketone ($4.68 \sim 32.73 \times 10^{-3} \text{ mg/l}$), acrolein ($0.55 \sim 10.02 \times 10^{-3} \text{ mg/l}$), acetone ($17.447 \times 10^{-3} \text{ mg/l}$), acetaldehyde ($0.299 \times 10^{-3} \text{ mg/l}$), formaldehyde ($0.20 \times 10^{-3} \text{ mg/l}$), crotonaldehyde ($0.72 \times 10^{-3} \text{ mg/l}$), を検出した。

Jones⁵²⁾ は、NDIR, IR, FIA, GLC を比較した。NDIR (n-hexane) は原則的に飽和成分を測定し、排気の組成が一定でないため全炭化水素量に比例した値を示さない。ある定速時の排気をNDIRで測り、条件を変えるとNDIR値は50%減少したが、FIAによる減少は30%で、NDIRに検知されないethyleneやpropyleneによると述べた。これらのことから、NDIRはスモッグの前駆物となるオレフィンを減少せずに通常の燃料調整だけでカリフォルニア基準値以下に炭化水素値を下げるのが可能で、このような欠点を防ぐためにFIAを併用することが必要であると述べた。さらに、FIA値とMS値は直接関係を示すが、IR値よりも約17%高い。IRとGLCの比較からC₁~C₁₂範囲の測定値には大差がないと述べた。

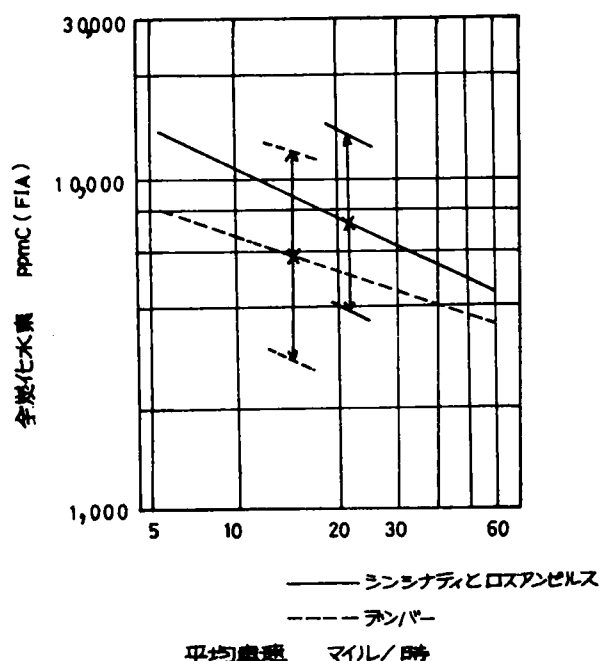
Hoffman⁵³⁾ はシミュレートサイクル(1時間)の排気から、約5.9 gのタールを採取してpolynuclear aromaticsとphenolを分析した。発癌度の大きいbenzo-(a)-pyrene ($2.2 \mu\text{g/min}$), dibenz-(a,h)-anthracene ($0.16 \mu\text{g/min}$) がかなり多く、C₁₄でラベルしたトレーサー法からの計算値はこの約2倍であると述べた。Houser⁵⁴⁾ は炭化水素分析のサンプリング系を加温する必要があると述べ、Barber⁵⁵⁾ は排気から1.7 mg/3.5 m³のphenol類を検出した。

Sigsby⁵⁶⁾ は、NDIR (n-hexane) とFIAを比較し、FIA値が1.0~2.9倍(平均1.9倍)も高い値を示し、この比率は運転条件で異なると述べた。Sweeny⁵⁷⁾ は1957年型車(排気量235 in³)でNOx 102~105 ppmを検出した。Jensen²⁵⁾ は、ロスアンゼルス(1964年)の平均走行で1.6 gal/hのガソリンを消費し、約30 ft³/min(平均気液率13.5:1)の排気を出す。炭化水素は約200~5,000 ppmで、試験車や測定法で異なるが、平均的には供給燃料の6% (wt)が炭化水素排出であると述べ、カリフォルニアテストサイクルによる平均値はCO 3~3.5%, 炭化水素(NDIR, n-hexane) 800~950 ppm、(全炭化水素1,400~1,700 ppmに相当)、N-oxideは900~1,100 ppm(NO₂)であると述べた。Ellis⁵⁸⁾ は排気のOxygenate測定法を述べた。

McMichael⁵⁹⁾ は、標高5,000 ftのデンバーと低地のロスアンゼルス、シンシナティーでの道路走行から排気の相違を測定した。1955~1963年型車59台(0~14万マイル、100~200 in³が22.0%, 200~300 in³が22.0%, 200~300 in³が49.1%, 300~400 in³が28.9%, 自動トランスミッション79.6%, 6

（約3.5.6%、8気筒6.4.4%）で、1963年の米国内の分布とほぼ一致する。商業路、幹線路、住宅路、ハイウェイ

図3-1 標高差による排出量の相違⁵⁹⁾



での走行から、炭化水素、CO、CO₂の濃度と排出量はロスアンゼルスとシンシナティーではほとんど差がない。デンバーでは炭化水素、CO、N-oxide濃度がロスアンゼルスよりも大きく、CO₂濃度は少ない。各成分の濃度と排出量は平均車速のべき関数 ($Y = AX^b$) で示され、全炭化水素量 (ppm-C) は図3-1のとおりである。平均車速が増すと炭化水素、COが減少してCO₂が増加し、その傾向は3市とも同様で、デンバーと他の2市の値には大きな差がある。これは標高差にもとづく大気密度差によるもので、気液率は空気密度の平方根に比例し、デンバーと他都市の相対空気密度の平方根の比は0.95である。すなわち、デンバーは補正しない気化器では気液率が他都市の0.95倍、5分のenrichmentとなる。また、デンバーのN-oxide濃度が他の2都市の約1.6倍である。これには気液率も関係するが、空気密度が低いためにサイクルピーク圧が減少するためであると述べた。平均車速が増すと空気消費量 (ft³ /

mile) も減少するが、3都市では統計的な差はない。平均車速の増加による炭化水素排出量の減少割合はデンバーが大きく、車速60mph付近では3都市ともほぼ同程度の値となると述べた。Flemingら⁶⁰⁾は、プロポーショナルサンプラーによる排気の稀釈割合の影響を述べた。

Cuplan⁶¹⁾は、光化学スモッグへの貢献度を各成分の光化学反応性から検討した。炭化水素とNOからスモッグ物の生成過程を15通りに想定し、反応速度から反応性を規定した。排気炭化水素のモルあたりの反応性は、パラフィン0.70 (59.4 ppm)、アセチレン1 (11.8 ppm)、芳香族2.65 (20.6 ppm)、オレフィン16.40 (31.0 ppm) である。()内は排気の平均濃度。このように、炭化水素のスモッグポテンシャルが大きく異なることから、GLC測定にもとづいた排出規制を行うべきであると述べ、McReynoldsら⁶²⁾もCFR単気筒エンジンを使用して同様のことを述べた。McEwen⁶³⁾はGLCでV-8エンジン(カリフォルニアサイクル)の排気を分析した。加速時(15~30mph)にパラフィン27.4 ppm、オレフィン26.8 ppm、アセチレン6.8 ppm、芳香族16.6 ppm、30mph加速時にパラフィン25.7 ppm、オレフィン23.7 ppm、アセチレン7.9 ppm、芳香族15.7 ppm、アイドル時にパラフィン19.5 ppm、オレフィン36.3 ppm、アセチレン5.16 ppm、芳香族3.21 ppm、減速時(50~20mph)にパラフィン5.17 ppm、オレフィン2.61 ppm、アセチレン1.28 ppm、芳香族2.51 ppmを検出した。Chase^{64) 65)}は炭化水素をグループに分けてGLCで測定する方法を述べた。

McMichaelら²⁹⁾は、シンシナティー(1965年)の夏(71.2°F)と冬(34.2°F)の大気温度でコールドスタートとホットスタートの相違を測定した。統計的にこの地域を代表する22台(年式; 1958~1959年3台、1960~1961年5台、1962~1963年8台、1964年6台、走行距離数; 冬期4,500~57,000マイル、夏期に1,700~13,300マイルが増加、排気量; 170~196 in³ 2台、401 in³ 1台、6気筒車5台、8気筒車17台)とプロポーショナルサンプラーを用いた。テストルートは平均車速が25mphをこえる7.5マイルの長さで、幹線路、商業路、住宅路および細路(limited access)からなる。この長さはU.S. Bureau of Highwayが22州で測定した平均値(平均8 mile tripを1日3回)で、コールドスタートは夜間野外においた車で行ない、その直後

にホットスタートを測定した。冬期のコールドスタートの排出量はホットスタートより炭化水素が47~50%, COが91%増加し, CO₂とN-oxideには大差がない。夏期のコールドスタートはホットスタートよりも炭化水素が18%, COが38%大きい。また, 冬期のコールドスタートは夏期のコールドスタートよりも炭化水素が24~30%, COが17%, N-oxideが52%大きい。ホットスタートによる冬期の値は, 夏期よりもN-oxideが59%大きいほかは大差がない。コールドスタートとホットスタートの炭化水素の違いの大部分は光化学的に非反応, あるいは反応性の低い部分であると述べた。Jackson⁶⁶⁾はNDIRとFIAを比較し, NDIR(セルの長さ13.5 in)は試料(N₂)に157%のCO₂があるとn-hexaneとして175 ppmの感度を示し, 4.8%のH₂Oがあると350 ppmのバックグラウンド値となる。オレフィン, アセチレン, 芳香族成分の相対感度(n-hexane=100)は0~61ときわめて低く, 成分による違いも大きい。FIAの相対感度(n-hexane=100)がオレフィン, アセチレン, 芳香族成分については水素濃度率で52~156と異なる。これらのことから, NDIRの値は排気中のパラフィン量よりやや大きい値を示すが, 全炭化水素量からみると著しく低く, オレフィン, アセチレン, 芳香族が多い場合には非常に危険である。FIAはO₂による妨害作用も小さく, 全炭化水素量にほぼ近い値を示すと述べ, 単気筒エンジンを用いた測定から, NDIRとFIAによる炭化水素の測定値には一定の相対関係がみとめられなかったと述べた。

Stephens⁶⁷⁾はGLCで排気を分析し, ethylene, acetylene が220~264 ppm, propylene, n-butane, i-pentane が53~87 ppm, butene-1, ethane が22~28 ppm, n-pentane 16~91 ppm, i-butane, trans-2-buteneが4.3~8.6 ppm, propaneが1~3.6 ppmであったと述べ, Spindt⁶⁸⁾はカリフォルニアテストサイクルによる排気評価にコンピューターの利用を述べた。Dinitriades⁶⁹⁾は1963年型(排気量283 in³)のシャーシーダイナモテストについて測定法による比較から, Indolene 燃料を用いたカリフォルニアサイクルでのNOxは99~702 ppmであると述べた。

以上は, 米国での研究の概略であるが, 測定法, 測定条件がさまざまで, 排気成分の値もかなり異なる。これは, 車種や運転条件などの要素を系統的に規定して行なった研究が少ないためである。また, 排出規制の実施上からNDIRが測定法に採用されたが, 大気汚染にたいする排気の貢献度や効果的防止の点から, 適当でない点が多いことはすでに指摘されているとおりである。

一方, 我が国における自動車排気の組成に関する報告のほとんどが米国で発表された成績の紹介にすぎず, わが国のような排気量が2,000 cc以下の中小型車についての炭化水素に関する資料はほとんどない。

1-3 燃料による排気の変化

Mader⁷⁰⁾は排気のオレフィン量は燃料のオレフィン量に比例すると述べた。Heaton⁷³⁾は2,3-dimethyl butane(パラフィン), 4-methyl-2-pentene(オレフィン), benzene(芳香族)を燃料とし, GLCによる30 mph 定速の成績を表3-4のように示した。燃料の種類で炭化水素組成, 排出量が大きく異なり, 検出成分から燃料成分の量を差引いた分解成分は芳香族燃料で106 ppm, パラフィン燃料で714 ppm, オレフィン燃料で731 ppmと大きく異なる。未反応燃料もベンゼン83.5%, パラフィン33.7%, オレフィン28.4%で, 一般のガソリンの未反応割合(35.0~41.9%)にパラフィン燃料に近い。これらのことから, 排気のオレフィン濃度は燃料のオレフィン含量に比例し, 芳香族燃料の排気はほとんどが未燃焼燃料からなると述べた。Hugh⁷¹⁾はASTM純度のiso-octaneと純度95%のn-hexaneを燃料として, V-8エンジン排気中のoxygenateを測定した。減速時にはoxygenate量が増大し, とくにacrolein量が多く, 点火プラグを1個取ったミスファイヤー時は燃料差がほとんどない。formaldehydeは急速に重合し, iso-octaneよりもn-hexane燃料は多量のoxygenateを生成すると述べた。Chipman⁴⁰⁾は, 供給燃料にたいする炭化水素の排出比はn-hexaneとして2.60~2.73% (wt)であると述べた。Altsuller⁴⁶⁾は供給燃料のtolueneとbenzeneの比は5:1で, 排気での比が2:1に変化したことからbenzeneはシリンダー内で合成される。すなわち, tolueneは選択的に分解し, acetyleneからbenzeneが形成され, とくに燃焼過程での重芳香族成分のdealkylationでbenzeneが形成されると述べた。

表 3-4 燃料に純炭化水素を用いたときの排気 38) Rose²⁴⁾ はオレフィン、芳香族、パラフィンの割合が異なる 11 種の燃料を用いて測定した。オレフィン含量の低い燃料でも、燃料のオレフィン量に応じて排気にオレフィンがみられ、排気モノオレフィンの 50~90% (wt) は C₂ と C₃ 成分で、末端に二重結合をもつ C₄ モノオレフィン量も大きい。パラフィン-ナフテン含量が大きい燃料は、オレフィン含量が 40~50% の燃料とほぼ同等のオレフィンが排出する。芳香族含量の大きい燃料では、低分子のオレフィンが多く生成し、排気のジオレフィン量は燃料のオレフィン量に著しく影響され、6~8% を示すことがある。オレフィンの全くない燃料でも 1~4% のジオレフィンが排出される。排気のパラフィンと芳香族の濃度は燃料組成に大きな影響を受けるが、パラフィン含量の大きい燃料でも排気の直鎖パラフィンの濃度は低い。排気と燃料間の芳香族には比例関係がみられ、芳香族含量が増すと燃焼せずにそのまま排出する量が增大する。液化石油ガス (LPG) は排気組成がガソリンとはやや異なるが、オレフィン濃度はきわめて大である。LPG 排気のオレフィンは大部分が C₂、C₃ モノオレフィンで、芳香族はほとんどない。butane 燃料では排気中の butane が 37~74% を占め、propane 燃料では排

成 分	排 気		
	2,3-Dimethyl-butene	4-Methyl-2-pentene	Benzene
Methane	156	245	28.2
Ethane	40	65	---
Ethylene	155	143	30.8
Acetylene	88	118	32.0
Propane	156	---	---
Propylene	177	512	---
n-Butane	---	---	---
Isobutane	97	---	---
Ca olefins	477	126	微量
Isopentane	---	---	---
2-Methyl-2-butene	23	61	---
1-Pentene	---	---	---
4-Methyl-1-Pentene	---	114	12.4
3,3-Dimethylbutane	146	---	---
2-Methylpentane	---	---	---
4-Methyl-2-pentene	---	85.1	---
3-Methyl-2-pentene	---	27	---
1-Hexene	---	---	微量
Methylcyclopentane	---	---	12
3-Methylhexane	15	---	---
Benzene	---	25	222
3-Heptene	---	---	微量
3-Methyl-2-hexene	---	---	---
全未燃炭化水素	860	743	328
全未燃 C vol %	0.2612	0.1765	0.1076
オレフィン 割合 vol %	---	---	---
C ₂	12.45	12.00	14.55
C ₃	1.40	0.70	1.30
C ₄	1.30	2.55	2.55
全炭素 vol %	14.01	14.73	17.28
炭化率 (wt)	14.6	13.6	12.4
未燃炭化水素 (炭化率 wt %)	1.86	1.22	0.93
未燃炭化水素の比 wt %	33.7	28.4	83.5
炭素 割合の比 wt %	66.3	71.6	16.5

気の 52~74% を propane が占める。LPG は排気炭化水素が高濃度であるが、低分子成分が多く重量% ではガソリンと大差がない。一方、同じ燃料を用いた場合には、高速定速で排気のオレフィン濃度が増す。パラフィン-ナフテン濃度は減少し、オレフィン/パラフィンの比が 2:1 から 4.75:1 にまで変化する。また、負荷が増すと、排気の C₂、C₃ オレフィン、シクロパラフィン量が増加するが、C₄ オレフィンに変化がない。芳香族は運転条件にかかわらずほぼ一定である。アイドルや定速より加速と減速では排気のオレフィンの割合が小さい。転換サイクルではサイクルピーク温度が低く、パラフィン量が増大する。排気中のアセチレンの割合はアイドルと減速時に大きい。この傾向はパラフィン系燃料にはあてはまらない。運転条件が異なると、サイクルピーク温度が変化してオレフィン量 (主として C₂、C₃ オレフィン) が変化する。これらのことから、燃料と運転条件は相互に関連しながら低級炭化水素の生成量に関係し、軽質成分は定速、アイドルと減速の初期が減速の中期よりも高濃度で、負荷や速度に比例する。芳香族量がきわめて低いパラフィン系燃料をのぞいて、排気には xylene, benzene がかなり多く、定速よりも減速時に多い。芳香族系燃料の排気は toluene 含量が大きく、オレフィン系燃料では同程度の toluene がある。芳香族はパラフィン-ナフテンと同様に分解し難く、温度が低い緩慢な運転条件の排気は燃料と類似した組成を示すと述べた。

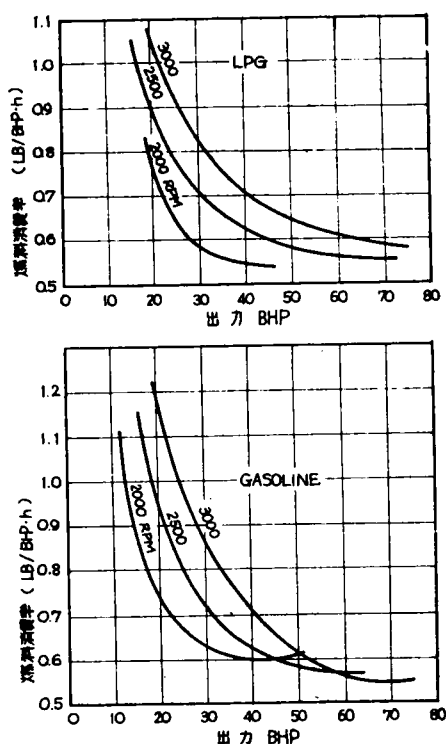
カリフォルニアでは、オレフィンによるスモッグを軽減するため 1960 年から燃料のオレフィン含量が 15% (V/V) , (Br 数 30) 以上の使用が禁止され、⁴⁾ 1962 年から Br 数 20 以上のガソリン販売が禁止された。⁷²⁾ Rose⁶⁾ は平均ルートの走行でオレフィンの排出傾向に燃料組成がもっとも大きく影響すると述べた。Neligan⁷²⁾ は GLC により 1956 年型車 (6 気筒) の通常走行 (28.5 mile, 約 1 時間) で、6 種の燃料による相違を検討した。燃料中になくて排気に現われた成分は ethylene, propane, propadiene, propylene, 1,3-butadiene, acetylene, methylacetylene, i-butylene, butene-1, trans-2-butene, cis-2-butene, 3Me-1-butene, (methane, ethane) で、燃料の解裂で生成する。C₂~C₄ オレフィンは燃料のオレフィン含量とは関係がなく、高分子のオレフィン (C₅~C₆) のみが比例関係を示す。benzene と toluene

は燃料の含量よりも排気の値が大で、芳香族成分は燃焼しないか、あるいは燃焼時に合成されると推論した。燃料の benzene と toluene の比が 5:1 であったものが、排気では 1:1 となることもある。これらのことから、燃料組成は未燃焼燃料成分の相対濃度に関係するだけでなく、解裂成分のタイプと量をも支配すると述べた。Hoffman ら⁵³⁾ は芳香族含量 3.6% の燃料を用いた 1 分間の運転で、検出された phenol (9.0 mg) は mouse skin test で発癌性物質の活性を増大させたと述べ、燃料をガソリンと炭化水素混合物 (2,2,4-trimethylpentane 25%, 2-methylbutane 25%, o-xylene 50%) とした排気から 9 種の polycyclic を検出した。また、6 種の燃料の排気から benzo-(a)-pyrene, benzo-(a)-anthracene, phenol を検出した。燃料に benzene とその誘導体を用いると、パラフィン系やオレフィン系燃料よりも排気に phenol 量が多く、シリンダー内での phenol 生成が容易となると述べ、排気のタール分による発癌性についても検討した。

自動車汚染防止局⁷³⁾ (Motor Vehicle Pollution Control Board) では 1959 年に、カリフォルニアテストサイクルによる測定で使用する燃料の芳香族含量を 4.0% 以下、S 含量 0.1% 以下、鉛含量 2~3 mg/gal, P 含量 0.2 以下と定めた。McKynolds ら⁶²⁾ は CFR エンジンで 7 種の燃料による効果を検討し、ガソリンの沸点範囲に入る燃料では、供給燃料にたいする炭化水素の排出重量比には大差がない。propane や butane を燃料とすると排出重量比は減少する。ガソリン沸点範囲の燃料では排気の光化学反応性は燃料組成で大きく異なり、低級パラフィン系燃料の排気は反応性が小さいと述べた。

Swartz ら⁷⁴⁾ は、4 台のエンジンに LPG とガソリンを用いた。LPG 燃料の排気では methane (10~210 ppm), ethane (10~346 ppm), ethylene (55~465 ppm), acetylene (44~400 ppm), propane (65~12,750 ppm), propylene (15~500 ppm) が主成分で、i-butane は減速で 20 ppm を示すほかは 2~8 ppm である。1-butene はアイドルで 65 ppm を示すほかは 1~10 ppm である。n-butane はアイドル 215 ppm, 定速 13 ppm, 加速 50 ppm が 1 台でみられたが、他の 3 台では検出されない。CO 濃度はアイドル 0.3~3.0%, 定速 0.1~0.2%, 加速 0.3~3.0%, 減速 0.6% である。ガソリンとくらべると LPG は CO, N-oxide がやや低く、炭化水素濃度は加速をのぞいてかなり低い。また、フォークリフトエンジン (LPG) では炭化水素が 150~660 ppm (n-hexane), CO が 1.1~1.4% である。さらに LPG とガソリンの出力特性と燃料消費率 (lb/hp-h) の関係をエンジンの回転数について図 3-2 のように示した。低出力時には LPG とガソリンには大差がなく、高出力時には LPG

図 3-2 燃料による出力特性の相違⁷⁴⁾



の燃料消費がガソリンよりもかなり大きくなると述べた。

Adams⁷⁵⁾ は V-6, 排気量 478 in³, 圧縮比 7.3 のエンジンに LPG とガソリンを用いたときの出力と燃料消費を比較した。ブレーキ馬力と平均有効圧は回転数が 2,400 rpm 以下では LPG がやや高く、回転数が 2,800 rpm をこえるとガソリンがかなり高い。低速で LPG の出力が大きいのはインテークマニホールドの温度効果の違いによるもので、ガソリンの場合にマニホールドを加熱すると出力が増大する。高速で LPG はガソリンより出力が 3.5~5% も低い。この差は LPG がベーパーとしてシリンダー内に注入されることによると述べた。さらに、圧縮比 8.5, 排気量 549 in³ エンジンで、ガソリンは LPG より回転数 1,200 rpm で 6.4%, 2,400 rpm で 3.8%, 3,200 rpm で 3.6%, いずれも高いブレーキ馬力を示すが、ブレーキ馬力あたりの燃料消費量 (wt) は LPG の方が低速で約 12%, 高速で 0~9%

低いと述べた。Mukaiら⁷⁶⁾は大気圧下におけるmethane, propane, isobutylene, acetyleneの完全, 不完全燃焼時に発生する芳香族成分を検出し, 燃料にないstyrene, phenylacetyleneを検出した。

以上は, 米國での燃料からみた排気ガス研究の概略で, 排気中の大気汚染物質が燃料組成に大きく支配されること, ならびに燃料にない成分が排気に現れることなどが明らかにされている。また, LPGについてもかなり研究されており, 大気汚染の見地からみてガソリンと大差がなく, エンジンの高速時には出力, 燃料消費の点で不利であることなどが示された。しかし, これらの研究においても自動車の運転条件を系統的に細かく規定して検討されているものは非常に少ない。

一方, わが國での研究はきわめて少なく, 平野⁷⁷⁾が排気量1,489cc車にプロパン燃料を使用し, 排気を質量分析計で測定しているが, この場合は負荷を0, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ とした定常状態についての測定である。

1-4 ジーゼル排気

1955年にElliott⁷⁸⁾はディーゼル, ガソリン, プロパン車の排気を測定し, ガソリン車とプロパン車の排出には大差はなく, いずれもアイドルでのCO濃度がもっとも高く, N-oxideは加速と定速時に著しく増加すると述べた。Jensen²⁵⁾はディーゼル車からのCO濃度は同容量のガソリン車の1/10以下で, 炭化水素濃度も低く, ディーゼル車は煙と臭が問題であると述べ, Chass⁶⁵⁾はディーゼル排気から200ppmのH₂を検出した。London⁷⁹⁾はディーゼルエンジンの気液比は燃料稀薄状態で, 燃料の99%以上が完全に酸化されるからディーゼル排気はカリフォルニアの規制値以下である。また, ディーゼルの供給燃料あたり炭化水素の排出量は最大で0.0111b/lb, COは最大0.211b/lbであると述べた。Rose⁵⁰⁾はディーゼルエンジンとガソリンエンジンの主な相違点は気液率で, ガソリン車は燃焼空気が不十分で, ディーゼル車は過剰空気が吹き込まれる。ディーゼル車の炭化水素濃度はガソリン車より常に低く, CO濃度も著しく異なる。加速時のCO濃度はガソリン車の約1/100で, 他の条件ではほとんど零である。炭化水素とN-oxide濃度はガソリン車より低く約 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ であるが, アイドルと加速ではガソリン車とほぼ同程度である。ディーゼルでは過剰空気量が大きいため, 化学平衡は燃料の完全燃焼側に移り, サイクルピーク温度が低いためにN-oxideの生成反応も起こり難い。炭化水素とN-oxideの排出量(1b/h)は排出ガス量が多いから濃度とは反対にかなり大である。ディーゼル排気の粒状物質濃度はガソリン車よりも多く, 定速, アイドル, 減速時にはガソリン車の25~50%(wt)も大きく, 加速のような大出力ではガソリン車の500~800%にも達すると述べた。Harkinsら⁸⁰⁾は4サイクル, 6気筒, 排気量743in³のトラックエンジン(250HP, 2,500rpm)について, 回転数900rpm, 0mphでNO₂ 76ppm, (NOx 66ppm), 2,000rpm, 52mph, 171HPでNO₂ 34~54ppm, (NOx 810~855ppm), 1,800~2,000rpmでの加速, すなわち0mphから10~40mph(出力0~75HP)でNO₂ 25~52ppm, 2,000rpm, 50mph定速(170HP)でNO₂ 17~23ppm, (NOx 760~1,020ppm)であったと述べた。またNO₂濃度は負荷の増加につれてやや減少し, NOx濃度は負荷と比例関係を示すと述べた。

McKeeら⁸¹⁾はディーゼル排気の測定から, 表3-5の結果を述べた。エンジンは4 cycle, open chamber, naturally aspiratedである。表はIR値でFIAではほぼ表の1.0~2.4倍となると述べた。

表3-5 ジーゼルエンジンの排気⁸¹⁾

モード	炭化水素 ppm	CO %	CO ₂ %	荷重係数	H-C	荷重係数 CO ₂ %	CO ₂ %
Idle	10	0	14	0.042	0.42	0	0.06
0-25	30	0	10.0	0.185	5.55	0	1.85
30	11	0	10.2	0.061	0.67	0	0.64
30-15	15	0	8.0	0.033	0.50	0	0.26
15-30	15	0	8.0	0.455	6.83	0	3.68
40	8	0.5	12.2	0.042	0.34	0.021	0.51
50	15	0.8	12.7	0.015	0.23	0.012	0.19
50-20	20	0.6	11.3	0.029	0.58	0.017	0.33
20	30	0	10.0	0.050	1.50	0	0.50
30-0	12	0	6.0	0.029	0.35	0	0.17
0-60	18	0.1	10.0	0.034	1.06	0.006	0.59
				1.000	18.03	0.056	7.79

Linnellら⁸²⁾は排気量426.5 in³のエンジンにセタン価50の燃料(パラフィン70.9%, オレフィン8.7%, 芳香族20.4%, 硫黄0.11%)を用い, 排気から formaldehyde 1.8~28.4 ppm (V/V), acrolein 1.6~11.4 ppm (V/V)を検出し, 回転数800~2,000 rpmで formaldehyde, acroleinとも全負荷時が最大で, 負荷0がついで大きく, 回転数が増大しても大きな変化がないと述べた。さらに, 同じ燃料を用い, 4サイクル, 6気筒, 300 HPと2サイクル, 6気筒, 220 HPエンジンについて測定⁸³⁾し, ジーゼル排気の粒状物質には多量の有機物が吸着されて, 目の刺激や臭気を呈し, とくに, アルデヒドはガス相中よりも粒状物中に多く存在する。炭化水素は4サイクルエンジンで acetylene 約2~5 ppm, ethylene 約9~27 ppm, propylene 約3~9 ppmが多く, これらの成分のみで全炭化水素の85%以上を占め, 全オレフィン約1~4 ppmである。2サイクルエンジンは acetylene 約1~38 ppm, ethylene 約4~83 ppm, propylene 約1~24 ppm, butene-1, 約0.4~7 ppm, 1,3-butadiene 約0.2~5 ppm, pentene-1 約0.1~5 ppmが比較的大きく, acetylene, ethylene, propyleneで全炭化水素値の85%以上を占める。n-heptane, n-hexane, 2-pentene, cis-2-buteneも存在すると述べた。回転数が低いとサイクル温度も低く, N-oxideの生成が少ない。回転数と負荷が増すと温度が上昇してN-oxide濃度が急増する。排気中の formaldehydeと acrolein は表3-6のとおりでジーゼル臭気の

表3-6 ジーゼル排気中のフォルムアルデヒドとアクロレイン⁸³⁾

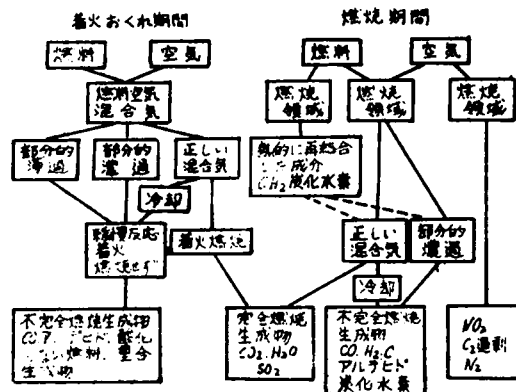
		フォルムアルデヒド					アクロレイン				
		800	1050	1300	1520	1685	800	1050	1300	1520	1780
エンジンA	回転数 rpm 濃度 ppm	19.9	15.1	14.0	16.8	26.8	8.88	16.2	17.0	13.4	17.4
エンジンB	回転数 rpm	600	1000	1200	1600	2200	600	1000	1200	1600	2200
	出力 HP 濃度 ppm	0	50	100	150	200	0	50	100	150	200
		5.20	3.38	2.98	10.2	18.1	4.47	0.84	1.40	2.97	3.12

原因である。これらの値は回転数や負荷で異なり, 低負荷, 低回転数では炭化水素の部分酸化反応である冷焰 (cool flame) 条件となって, aldehydeが高濃度に生成するが, 回転数が中位いではサイクル温度の上昇によって完全燃焼側に移行する。最大回転数-負荷では理論気液率に近ずき, 空気中に局部的稀薄を生じて不完全燃焼が起きるために aldehyde やCO濃度が増加すると述べた。Battigelliら⁸⁴⁾はジーゼル排気による目の刺激効果について, Irishら⁸⁵⁾はジーゼルの排煙について述べた。

東⁸⁶⁾はジーゼルの燃焼には炎になる前に酸化が加速的に進行する着火遅れの時期と, 燃焼が空気と燃料の混合気に急激な酸化として完了する燃焼時期とに分けられると述べた。着火遅れの際には部分的に空燃比がオーバーリッチになったり, 稀薄のときは酸化が起こるが炎は進行せず, 部分的に濃いところでは酸素不足となる。燃焼期間中に不完全燃焼生成物は熱的に分解して適当に空気と混らない。部分的に空気のみで燃料がなく高温になると, $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$ となる。この反応の右方向への反応は早く, 左への反応は遅い。平衡は膨張行程では起こらずN-oxideが排気中に残ると述べ, ジーゼルエンジンの燃焼模式を図3-3のように示した。

また, 実際の測定から, ジーゼルの運転は気液率が0.01~0.06で, 0.06以上に燃料が噴射されたり, 空気が減少するとCO, aldehyde濃度が増大する。低負荷時には燃焼室内で局部的に薄すぎる領域が生じて aldehydeやCO濃度が増加する。高負荷時には局部的に濃すぎる領域が生じCOや煙が発生する。ふつうの負荷では aldehydeやCOは一定を示し, NO₂濃度は回転数の上昇につれて増加するが, 気液率0.02~0.04の普通負荷では400~500 ppmである。さらに, C₁₀ガソリンではパラフィン, 芳香族とも温度上昇過程(圧縮または燃焼の初期)でまず気化が起り, 蒸発して液粒が気体となってから分子が分解する。このため分子中の炭素が酸素と接触する機会が多くなる。炭素数の多いとき

図3-3 ジーゼルエンジンの燃焼機構⁸⁶⁾



(C_{20} 芳香族)にはまず分解を起こしたのちに沸点に達する。すなわち、液粒のままで分解するために炭素が酸素に接触する機会を失う。これが集まって炭素粒子になりやすく、とくに芳香族では炭素の結合力が強いためにこの傾向が著しいと説明した。

小早川⁸⁷⁾は2トン積トラックのディーゼルエンジンについて測定し、20～50km/h定速でCOはなく、空気過剰率 $\lambda \leq 1.2$ の全速加速で0.1%以下で、さらに λ が大きくなると検出されない。減速(55→25km/h)でのCO濃度は0%で、ディーゼルは炭化水素について考慮する必要があると述べた。柳原⁸⁸⁾も4サイクルディーゼルではアイドル、軽負荷および噴射量が出力限界に近い高負荷のときに炭化水素の排出が大となり、炭化水素濃度は $C_2 \sim C_4$ 成分が多く、アルデヒドなどの酸化物も多い。4サイクルよりも2サイクルの方が炭化水素値は大で、N-oxideはガソリンエンジンよりも最高温度が低いことを以下であると述べた。橋爪⁸⁹⁾はディーゼル排気黒煙は燃料の噴射量を増加してある限界に達すると多量に発生する。予燃室方式ではある限度を越えると排気は急速に黒くなり、直接噴射式、過流式エンジンでは除々に変化する傾向がある。同一の気液率でも回転数で濃度は異なり、排気濃度は気液率に密接な関係をもつ。平均走行では気液率が0.015～0.045($\lambda=4.7 \sim 1.6$)で余剰の空気が多く問題でないが、登坂(全負荷)では発煙限界を越えると述べた。

以上は、ディーゼル排気についての研究の概略であるが、米国ではディーゼル車の割合が比較的小さいことから、実際の都市走行についての研究が少ない。しかし、ガソリン車にくらべて、アルデヒドなどによる臭気、粒状物質による排気煙などの問題点が明らかにされている。

一方、わが国では都市走行車中のディーゼル車の割合が大きいとみられるが、運転条件なども規則的に変えた詳細な研究はほとんどなく、今後の研究に期すところが大である。

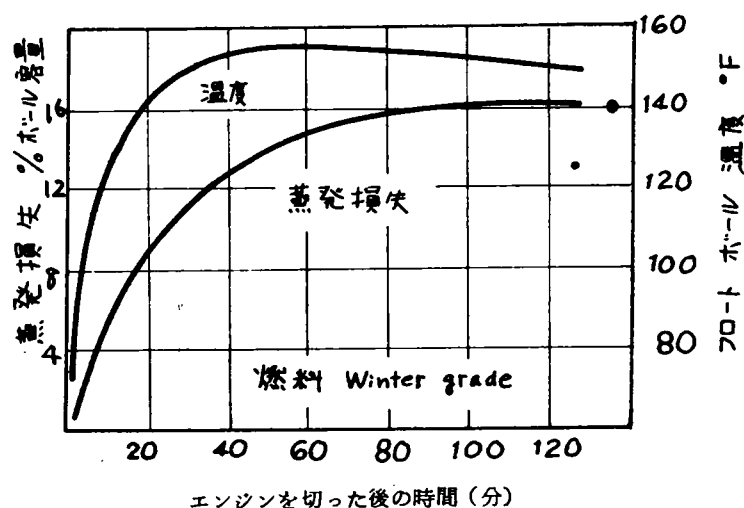
1-5 クランクケース排出と燃料蒸発

自動車からの全炭化水素量の40%がクランクケース、または、ブローバイが占める⁹⁰⁾といわれ、Rose⁹¹⁾は1955～1959年型車13台(6気筒5台、8気筒8台、圧縮比8.0～9.1、排気量230～369in³、走行距離7,400～43,400mile)とジャーシーダイナモメーター、Br数20のガソリンで測定した。ブローバイガス組成は気化器の混合気と燃焼産物にもとずき、混合気が75～85%含まれ、エンジン負荷が増すにつれてブローバイ中の気化器ガスの割合が増加し、燃料組成で大きく影響される。使用車の既走行距離数はブローバイ排出にほとんど関係なく、マニ

ホールドバキュームとブローバイの排出量には比例関係があるが、車速はブローバイに大きな影響がない。8気筒車のブローバイの炭化水素濃度は6気筒車よりやや低い、排出ガス量が多いから排出量は6気筒車の約2倍である。これにはピストン廻りのブローバイパスの差異のみでなく圧縮比も関係する。ブローバイの炭化水素濃度は非常に高く、運転条件による変動は小さいが、排気とくらべると約10～20倍である。炭化水素の排出量はマニホールドバキュームの増大につれて減少し、回転数には無関係とみられる。カリフォルニアサイクルで、クランクケース排出量は6気筒車で自動車全体からの24%、8気筒車では33%を占めると述べた。Jensen²⁵⁾ はジゼル燃料は揮発性が小さく、燃料タンクなどからの蒸発損失もガソリン車より非常に小さい。クランクケースブローバイは、ジゼル車が供給燃料の0.0014～0.052% (wt) で、ガソリン車の約1/50であると述べた。

Hartleyら⁹²⁾ は、炭化水素とCOの排出源はexternal carburetor vents, internal carburetor vents, gasoline tank vents, crankcase vents, 排気パイプで、これらの適当な改良でスモッグレス自動車 (smogless automobile) が可能であると述べた。ロスアンゼルスでタンクや気化器のフロート室から蒸発するガソリンによる炭化水素は自動車全体からの20～30%を占める。気化器の蒸発損失はエンジンを止めたのちの、いわゆるホットソーク (Hot soak) 時に起こり、エンジン本体の熱が気化器まで伝わって蒸発損失を促す。その関係は図3-4のようで、ロスアンゼルスでは燃料系の全損失の40%がこのホットソークであると推定した。さらに、

図3-4 気化器の温度とホットソーク (Hot Soak) 損失⁹²⁾



大気温度 (67～74°F) でwinter grade 燃料を用い、走行距離と燃料タンクからの蒸発量を測定し、10マイルで50ml、20マイルで80ml、30マイルで約110mlが蒸発したと述べた。

Bennettら⁹³⁾ は、ブローバイ組成は気液率12.6でCO₂ 1.5%、O₂ 17.9%、CO 0.4% (排気; CO₂ 11.0%、O₂ 0.7%、CO 4.6%)、気液率16.4でCO₂ 18.4%、O₂ 1.8%、CO 0.3% (排気; CO₂ 13.0%、O₂ 2.6%、CO 0.5%)である。ブローバイガスは未燃焼混合気とピストンリングの周りから吹き抜けた排気からなり、クランクケースガスはブローバイガスとベンチレーションエアーからなる。通常運転では、ブリーザーパイプから吸入されたベンチレーションエアーがブローバイと混合してロードドラフト管から外に排出される。ブリーザーとdispsstickに栓をするとドラフト管にきたガスはブローバイガスとなる。ブローバイの炭化水素は燃料に負うところが大き、その85%は混合気、15%が排気である。混合気の炭化水素は2,000 ppm-C₁、排気は400 ppm-C₁で、ブローバイの炭化水素は99%が気化燃料、1%が排気からなると述べた。また、クランクケースからの炭化水素は全運転条件による全量の

40%を占めると述べた。Rone⁹⁴⁾は、ブローバイの炭化水素量 (lb/h) はマニホールドバキウムの増大につれて直線的に減少すると述べた。Maga⁵⁾は、ロスアンゼルス市の1940年では自動車からのオレフィンが134トン/日、ガソリンタンク蒸発は6トン/日、気化器からの損失7トン/日、気化器のホットソーク2トン/日で、1970年まで何らの規制がないと、それぞれ596トン/日、13トン/日、16トン/日、5トン/日に増大するであろうと述べた。

McKee⁹⁵⁾は1959年のロスアンゼルス市の分布を代表する5台 (1955~1958年、排気量235~364 in³、圧縮比7.5:1~9.5:1、燃料のBr数20と30) を、カリフォルニアテストサイクルおよびアスファルト道路 (San Antonio, Texas) での測定を行なった。気化器全体を覆いて包んだ測定で、平均クランクケース排出が0.15~0.65 lb/h、全炭化水素排出量 (ホットソークと燃料タンク損失を除く) にたいする割合が13.9~40.6%、供給燃料にたいする割合が1.0~2.8% (wt) を示した。走行時の気化器損失は0.0002~0.0019 lb/hで、炭化水素排出量の0.03~0.14% (wt) を占め、供給燃料にたいする割合は0.02~0.01%と小さい。ホットソークの炭化水素濃度は大気温度 (60~90°F) で0.053~2.213%でエンジンを切る直前の運転条件で異なる。エンジンの状態がブローバイと排気ガスの両方に大きく影響し、エンジンをオーバーホールした後のクランクケース排出は70.5%が減少する。気化器型式の相違による蒸発損失には差がなく、走行中の気化器の蒸発損失は排気やクランクケースからの排出量よりきわめて低い。エンジンを切った後のホットソークは運転中の損失とは直接関係はなく、停止-発進の際の損失は全車ともほぼ同程度で、燃料の揮発性とエンジンを止める直前の条件でやや変化する。0.20~2.0時間運転で燃料の蒸発損失は0.0113~0.1344 lb/h (大気温度70~90°F) であった。これらのことから、運転中の炭化水素の排出全量にたいして、排気が69%、クランクケースブローバイが25%、燃料タンク損失が6%、気化器の蒸発損失が0.1%以下を占める。またアイドル時の燃料タンクの呼吸と拡散による蒸発損失は完全に除きえないが、運転中の蒸発損失は6%より低いと述べた。さらに、走行中の気化器損失に加えて、エンジンを切った直後のホットソークは気化器の型には無関係で、毎日のエンジンを切る回数とその直前の運転条件が影響し、米国の市内の平均運転習慣からホットソークは運転中の全排出の約3%に達すると推論した。

カリフォルニアではクランクケース排出の炭化水素が供給燃料の0.15% (wt) 以下と規定し、テスト条件をアイドル、30mph (16 inHg)、30mph (10 inHg)、(測定時間比を25%、25%、50%) とすることを1960年に規定した。⁹⁶⁾ また、1961年にA.M.A. (Auto Mobile Association) は1965年型車 (ガソリン車) にクランクケースベンチレーション装置の取付けを規定したが、排気量140 in³ 以下は除外された。さらに、1964年12月以降には全車にクランクケース処理装置の取付けが定められた。⁷³⁾ McKee⁸¹⁾ はジーゼル車では供給燃料にたいするブローバイが0.0014~0.03% (wt) ときわめて小さいと述べた。Jensen^{25) 97)} は、ガソリン車のクランクケース損失はシリンダーのブローバイが主で、気化器の混合気を75%、空気で希釈された排気を25%含み、排出量は少ないが炭化水素濃度はきわめて高い。カリフォルニアの平均では乗用車の都市走行で30 ft³/min の排気ガス、ブローバイ1 ft³/min が排出される。ブローバイの炭化水素は10,000~15,000 ppm (n-hexane) に達し、クランクケースからの炭化水素の排出量は供給燃料の約2% (wt) である。気化器、燃料タンクからの蒸発損失は燃料の揮発性炭化水素が主で、平均分子量はpentane、またはbutaneに相当する。ジーゼル車は燃料の揮発性が低く蒸発損失は無視でき、ブローバイはガソリン車の1/50程度で、供給燃料の0.0014~0.052% (wt) であると述べ、自動車からの炭化水素、CO、N-oxideの排出割合を表3-7のように示した。

表 3-7 自動車からの全排出割合⁸¹⁾

汚 染 物	排 気 割 合 %		
	排 気	クランクケース	蒸 発
炭 化 水 素	50-65	25-35	5-15
CO	98-99	1-2	0
窒 素 酸 化 物	98-99	1-2	0

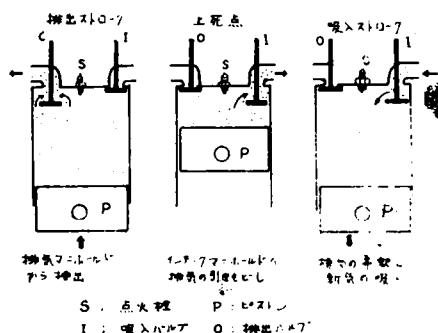
Caplan⁶¹⁾ は、気化による損失は非反応性の軽パラフィンがほとんどで、気化器のホットゾーンにはガソリン沸点範囲の成分が多く、反応性の80%以上はオレフィンによる。パラフィンの反応性は芳香族よりも大きい。蒸発損失の反応性の主なるものはパラフィンで、反応性は排気の5.97/mol よりも大きく9.77/mol である。タンク蒸発損失の反応性は6.93/mol と気化器蒸発より小さく、タンク蒸発の大部分が軽パラフィンであると述べた。また、Sigsby⁵⁶⁾ は、16台(排気量152~365 in³)によるブローバイガスを測定した。

以上は、クランクケース、気化器、燃料タンクなどからの排出にたいする米国での研究の概略で、これらの排出源も軽視できないことから、米国ではすでに防止装置の取付けが規定されている。一方、わが国ではこの方面についての研究は全くなされていない。

1-6 エンジン条件と排気の関係

Linville²²⁾ は、ガソリン車の燃焼特性を述べた。4サイクルエンジンはクランクシャフトの2回転で一行程を終る。すなわち、(1)吸入ストローク(混合物をシリンダー内へ吸入する)、(2)圧縮ストローク(混合気を圧縮する)、(3)出力ストローク(混合気の燃焼)、(4)排気ストローク(燃焼したガスをシリンダーから追い出す)で、負荷条件が変化する際の出力と回転速度は気液率に支配される。定速の気液率は15:1付近で、加速は濃厚な12.5:1付近となる。理論混合比で炭化水素は低く、N-oxideは最大を示す。減速では炭化水素濃度が最大で、エンジンの型やモデルなどには無関係である。減速時の排気機構について図3-5の模式を示した。図の(A)は排気バルブが開き、燃焼排気を外へ追い出すため

図3-5 減速時の排気希釈²²⁾



にピストンが下死点から上方へ移動する。さらに移動して(B)のピストンが上死点に達すると、排気バルブが閉じて吸入バルブが開く。減速ではスロットルが閉じてピストンが吸引するためにマニホールドバキュームが非常に高い。このため図(B)で吸入バルブが開くと、シリンダー内の残留排気はインテークマニホールドの方へ引きもどされる。つぎにピストンが下方に動いて吸引ストロークがはじまると、少量の新しい混合気が吸入される(図C)。このとき、図(B)でシリンダーから引きもどされた排気も再び吸入され、新たに吸入される混合気は排気で薄められ、燃焼効果が著しく低下して炭化水素が増大すると説明した。また、アイドルはマニホールドバキュームが減速時より低く、排気による希釈効果も低い、アイドル維持のために濃厚気液比とするから未燃の燃料成分の排出が大である。

これらのことから、マニホールドバキュームでエンジンの運転条件を定義した。また、水冷式エンジンは金属の熱伝導が大きく燃焼室壁での混合気の冷却(壁面クエンチング)が生じ、混合気の完全燃焼が妨げられて未燃成分が生成する。

それゆえ、壁面積が容積にたいして小さい燃焼室ほど炭化水素濃度は小さくなるわけで、炭化水素(n-hexane)とCOの濃度を燃焼室表面積の容積比について示したのが図3-6である。CO濃度にはほとんど影響がなく、炭化水素は表面積値とともに大きく増加する。炭化水素は壁面状態が関係し、COは燃焼室全体の気液率が関係すると述べた。Hurn⁹⁸⁾

は、V-8エンジン(排気量283 in³)を用いて気液率の効果を測定した。CO₂とNO_x濃度は気液率14から増加して理論混合比(16)付近で最大を示し、さらに気液率が大きくなると減少する。CO、H₂、炭化水素は気液率の増加につれて大きく減少し、アルデヒドはこれと反対である。炭化水素は気液率が17を越えると増加し、芳香族はこの傾向が著しい。これらのことから、汚染物生成には気液率が最大の要因で、排気の光化学反応性も気液率とともに増加すると述べ、

図3-6 燃焼室の内表面積と~~燃焼室~~体積比による²²⁾
排気中のCOおよび炭化水素濃度の関係

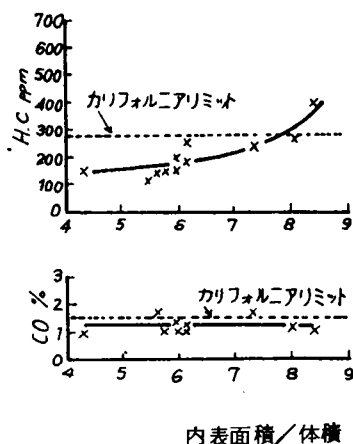
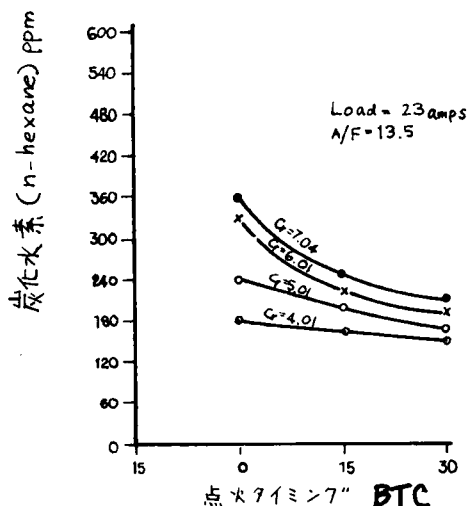


図3-7 点火タイミングと炭化水素濃度の関係¹⁰⁰⁾



NO_2 の生成率は気液率が12.9から17.3に増すと0.0113から0.0149 ppm/min に増加すると述べた。Spindt⁹⁹⁾は排気のCO, CO_2 , O_2 , H_2 濃度から気液率を求める計算式について検討した。

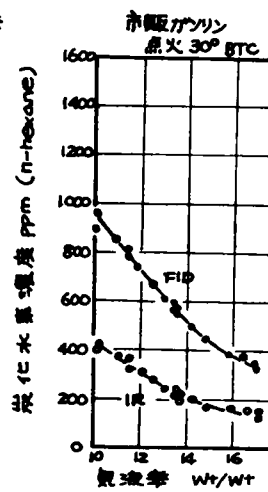
Lawrence¹⁰⁰⁾は、シャシーダイナモ、FIA, CFR エンジン (単気筒4サイクル、火花点火型で、圧縮比4.0:1 ~ 10.0:1, 点火進角, $40^\circ \text{ BTC} \sim 40^\circ \text{ ATC}$, 回転数900 rpm, シリンダー内径3.25 in, ストローク4.50 in, 排気量3.733 in³), ESSO Extra (93 octane) 燃料を用いて検討した。圧縮比が4.0:1から7.0:1に増大すると炭化水素は負荷やタイミング条件に無関係に増大する。無負荷で点火タイミングが $0, 15^\circ \text{ BTC}$ では圧縮比が6.0:1から6.5:1の間で炭化水素濃度のピーク値がみられ、大気湿度も影響する。気液率、負荷、圧縮比、マニホールドバキウム、エンジン回転数を一定にした場合の点火タイミングによる変化を図3-7に示した。タイミングが進むにつれて炭化水素は減少し、圧縮比が大きいほど減少も大きい。圧縮比が4.0:1ではタイミングの違いによる変化は小さい。 $\text{BTC } 0^\circ$ の炭化水素濃度は圧縮比の違いによる差がもっとも大きい。圧縮比4.0:1は無加鉛燃料がノッキングを起こさずに燃焼して自動車に利用できる上限で、この点で燃焼におけるフリーラジカル過程に変化を生じる。圧縮比6.7, 点火タイミングを $0, 15^\circ \text{ BTC}$ の場合に気液率を変えると、15:1で炭化水素は最小を示す。圧縮比が9.5では気液率が13:1から15:1に移るにつれて炭化水素は減少し、さらに気液率が増すと濃度も増大し、気液率19:1を過ぎると再び減少する。圧縮比が高いときにはエンジンの負荷が炭化水素に大きな影響を示さないが、低圧縮比では負荷の増大につれて濃度も上昇すると述べた。

Marvin¹⁰¹⁾はNDIR (n-hexane) と FIA による測定を比較した。燃料に市販ガソリン, toluene, iso-octane を用い、点火タイミングと気液率による違いを図3-8のように示した。点火タイミング 30° BTC , 回転数1,000 rpm, マニホールドバキウム16.1~16.3 inHgでの炭化水素は、気液率が10から16まで増加するにつれて減少する。気液率12.0~14.1で、回転数1,000 rpm, マニホールドバキウム16.1~16.3 inHg では点火タイミングを 60° BTC から 20° ATC まで変化させると、燃料の種類にかかわらずタイミングがおくれ炭化水素値が大きく減少すると述べた。Chass¹⁰²⁾は1964年型車 (排気量283 in³, V-8, 自動トランスミッション), シャシーダイナモでマニホールドバキウムと加速度の関係を測定した。一定のマニホールドバキウムを保ったときの経過時間と到達速度との関係を測定し、急加速ではマニホールドバキウムが非常に低く、実際の道路条件でのマニホールドバキウムと加速度 (mph/sec) の関係はシャシーダイナモテストの場合とはかなり異なる。減速での炭化水素濃度はその直前の運転条件、とくにマニホールドバキウムがもっとも大きく影響すると述べ、減速に入る前の定速速度、ならびにマニホールドバキウムによる炭化水素濃度の関係を図3-9, および図3

図3-8 気液率および点火タイミングによる差異¹⁰¹⁾

1,000rpm, マニホールドバキウム 16.1~16.3 inHg

A 気液率



B 点火タイミング

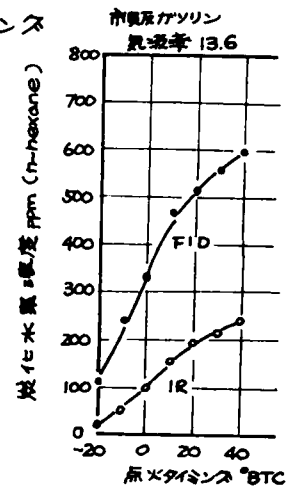


図3-9 減速前の车速およびマニホールド¹⁰²⁾

バキウムと炭化水素のピーク値

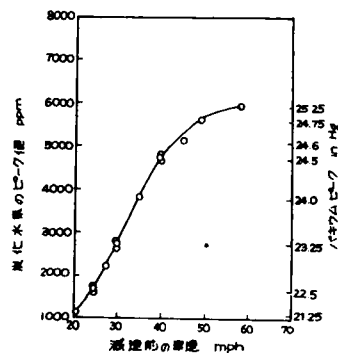
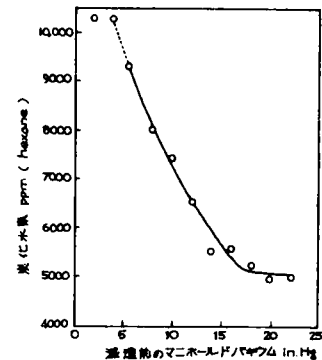


図3-10 減速時のピーク炭化水素と¹⁰²⁾

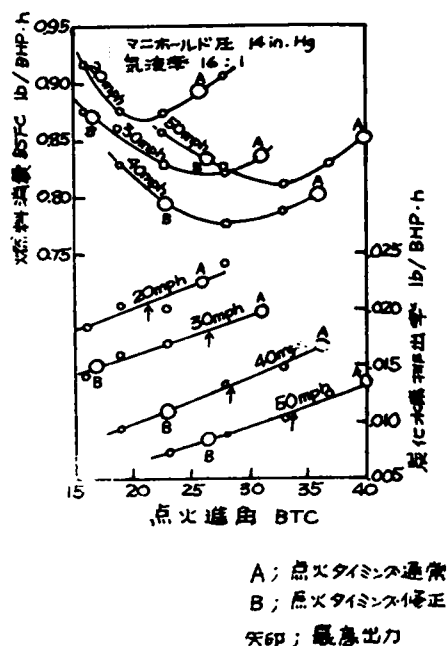
マニホールドバキウム



ー10のように示した。これらのことから、高速度の定速からの減速時の炭化水素濃度はきわめて高く、58mph 定速 (マニホールドバキウム18 inHg, 回転数2,250rpm)からの減速で5,900 ppm (n-hexane)である。CO濃度もマニホールドバキウムとともにやや増加すると述べた。

Stahmanら¹⁰³⁾は、通常の気化器をつけた1963年型車 (V-8, 283 in³排気量)をダイナモテストと道路条件について測定した。燃料に pure premium (Indolene + 3cc TEL) (飽和62%, オレフィン14%, 芳香族24%, Br数2.64)を用い、20~50mphで走行させて気液率を16:1, マニホールドバキウムを15.3 inHgとし、点火タイミングをBTC 15°から40°に変化させた。燃料消費 (BSFC, lb/ps·h), 出力, 炭化水素の排出量 (lb/ps·h) と点火タイミングの関係は図3-11のとおりで、燃料消費の最小値と最大出力を示すタイミングとはよく一致し、点火タイミングをおくらせて炭化水素の排出量 (lb/ps·h)を減少できるが、最大出力のタイミングは車速で異なる。最大出力タイミングよりもおくらせると炭化水素が減少しても、出力と効率を大きく低下させる。実際の道路条件 (住宅、幹線、ハイウェイ、商業)から表3-8のように示した。炭化水素、COとも走行路線にかかわらず自動トランスミッション車が手動車より小さいと述べ、通常の気化器ではアイドル時のデストリビューターの再調整と気液

図3-11 燃料消費・点火タイミング、
出力と汚染物排出の関係¹⁰³⁾



率を高くすることでかなりの減少がえられると述べた。

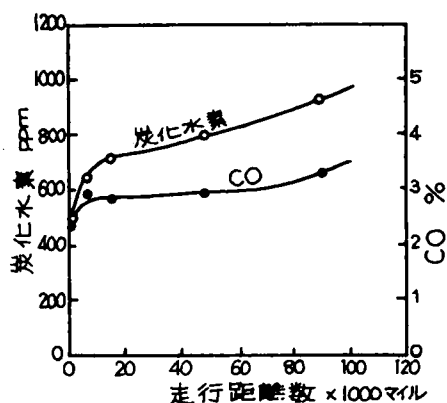
Sweeney¹⁰⁴⁾ は、自動車の走行距離数の増加と炭化水素およびCO排出濃度の関係を図3-12のように示し、炭化水素濃度は走行距離数が、0~20,000マイルの間でかなり大きく増大し、20,000~100,000マイルではほぼ一定の割合で増加すると述べた。小早川¹⁰⁵⁾ は気液率とCO濃度の関係はかなり大きなばらつきがあり、理論混合比でもCO濃度は0%とはならないと述べ、回転数の増大で炭化水素濃度は減少し、その原因は回転数が増大すると燃焼室内のタービュレンスでガスの混合状態が異なるためであると述べた。また、エンジンの背圧が高くなると炭化水素濃度はやや減少するが、ほとんど大差はないと述べ、冷却水温が高くなると炭化水素濃度は大巾に減少するから空冷機関の方が有利である。始動後で冷却水温が上昇するまでは排出量が多く、ブローバイとは反対である。減速時のような吸気圧が著しく低下する場合は残留ガス濃度が大きくなって着火が行われなくなり燃焼に関与しない炭化水素が多量に排出されると述べた。ガソリン機関のNOx発生は稀薄混合気が増大し、点火時期を進めると増加する。負荷

表 3-8 路線別ロードテストにおけるトランスミッションと炭化水素濃度の関係¹⁰⁶⁾

条 件 \ 路 線	住宅路	幹線路	フリーウェイ	商業路
手動トランスミッション				
CO%	5.7	5.7	5.0	4.9
HC (IR), ppmC	5,200	6,500	3,700	6,200
HC (FIA), ppmC	10,200	11,100	6,100	10,600
自動トランスミッション				
CO%	2.6	2.7	2.1	3.0
HC (IR), ppmC	2,600	3,600	1,900	2,700
HC (FIA), ppmC	4,600	5,900	3,400	5,000

12
図3-12 自動車の走行距離数による
COおよび炭化水素の排出傾向
(ホットスタート)

73% 自動トランスミッション
27% 手動トランスミッション



の増加や圧縮比の向上でも発生量は増え、回転速度の向上には無関係であると述べた。気液率と点火時期がNOx発生に及ぼす関係は気液率1.7付近での発生量が最大で、最大出力を出す気液率1.2~1.3では約1/40に減少し、点火進角が進むにつれてNOx発生は増大する。その影響度は稀薄気液率で大きく、熱効率を高めるために燃焼温度を高くすると増大し、燃焼経済とNOx防止とは両立しないと述べた。

以上は、エンジンの諸要因と排気についての米国での研究の概略であり、気液率、マニホールドバクテム、圧縮比、点火タイミング、負荷などが不完全燃焼成分の排出に関係することが

示された。

一方、わが国の場合にはエンジン条件を系統的に制御した測定はほとんどなく、多くは米国での成果の紹介にすぎず、今後の基礎研究に待つところが非常に大きい。

第2節 自動車排気の低級炭化水素と無機ガス 成分に関する研究

は じ め に

わが国では都市および道路の整備、高速道路の建設が推進されているが、過飽和状態にある交通問題を解決するには程遠い現状である。そのうえ、国民生活の向上からモーターレーゼーションは急速に進展し、自動車生産も世界第4位の地位を確保するに至った。¹⁰⁶⁾わが国の自動車産業の特色の一つである輸出率の低いこと¹⁰⁷⁾から国内保有数が急増し、都市の自動車密度(300~2,000台/Km²)は排気による汚染が問題とされている米国の諸都市(300台/Km²)より大きい。¹⁰⁸⁾このような過密化は交通災害とともに、排気による大気汚染、騒音などをもたらし、これらは都市公害としていまや重要な社会問題とされるに至った。¹⁰⁹⁾

自動車排気による大気汚染は本章第1節で述べたように、ロスアンゼルススモッグの主因として注目され、米国では種々の対策が実施されている。すなわち、炭化水素やN-oxideなどの光化学反応機構の追求、大気汚染物濃度や排気成分の測定と、それらの相互関係などカリフォルニアを中心とした多くの調査、研究⁵⁾ 110~114) がなされた。

その結果、1959年にカリフォルニアで自動車排気の排出規制が、1960年にブローバイ規制が実施され¹¹⁵⁾ 1965年からブローバイ規制が、1967年からは排気ガスの排出規制がともに全米にわたって実行され、今後、いっそう強化されようとしている。⁵⁾ この拘束のため、わが国をはじめとする自動車輸出国は重大な影響を受けることになった。わが国でも都市における大気汚染の実態調査^{116)~119)}から自動車排気による障害が指摘され、このような、自動車の対米輸出と大気汚染防止の観点から、わが国も排出規制が実施された。すなわち、1966年よりCOの基準値(3%)⁹⁾が定められたが、その根拠は明らかでない。わが国では自動車排気とその処理にたいする基礎的研究がほとんどなく、種々述べられているものはいずれも米国における成果の紹介がほとんどである。

2-1 研究目的

自動車排気は本章第1節で略述したように、種々の要因で大きく異なり、米国車(エンジンの排気量3,500~6,100cc)とわが国の自動車(排気量1,000~2,000cc)とではエンジンの容積が大きく違い、排気組成も異なるとみられる。¹⁶⁾また、米国やわが国で排気の試験法とされたシャーシーダイナモテストの成績は、実際の都市走行によるものとはかなり異なるから、今後の排出規制は道路テストと、光化学反応性成分にもとづくべきであると指摘されている。¹²⁰⁾

本節では、わが国の自動車排気による都市の大気汚染と、その防止のための基礎的資料をえることを目的として実験を行った。すなわち、国産自動車を街路上で走行させ、各種の運転条件(アイドル、定速、加速、減速)での無機ガス成分(CO, CO₂, O₂, H₂)、C₁~C₆炭化水素、ならびにエンジン要素について測定した。^{112)~126)}実験にあたっては、都市の大気汚染に比較的大きな比重を占める¹²⁰⁾中古車をはじめの対象とし、運転条件を系統的に制御して測定した。ついで、新車やシャーシーダイナモテストによる成績についても検討した。

2-2 研究方法

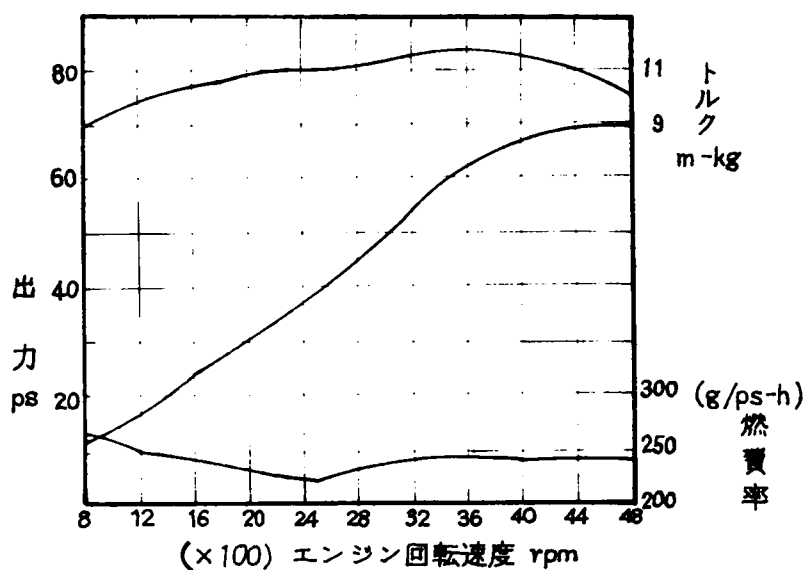
本研究に使用した国産自動車はつぎの4台である。

- (B) プリンススカイライン，1,500cc，1967年型，既走行距離145km（新車）

表3-9 実験車の諸元 ¹²⁹⁾

車 種	汎用型、汎用型、汎用型		
年 式	1980	1984	1987
型 式	A.S.D-2	S50D-1	S50D-2
作 業 幅	166.480mm	1400mm	145mm
走行速度	SL-2:31673	S50D:15563	S50DS:42825
番 号	4G4C-67179	G-1	G-1
工 型 式	4G4C水油 通付 2=1	同左	同左
シ 潤滑油	4	4	4
作 業 数	75 X 84	75 X 84	75 X 84
掘削量cc	1484 cc	1484 cc	1484 cc
主軸比	8.3 : 1	8.3 : 1	8.3 : 1
	2D-32A型・D3032-B/1型	同左	
装 置	2速AT型 油圧型	同左	
	1=1 X 1=1=1=1		
工 作 7=1=1=1	1=1=1=1	同左	同左
7=1=1=1=1	500mm以内 500-600mm	同左	同左
トランスミッション	前進4速後進1速	前進3速後進1速	同左
総重量kg	4444	4444	4444
7=1=1=1	64.0(1440kg)	56.0(1240kg)	
最高出力	70 PS/4800rpm	70 PS/4800rpm	同左
最大トルク	14.5kgm/2400rpm	14.5kgm/2400rpm	同左

図3-13 積載エンジンの性能¹²⁷⁾



なお、著者ら¹²⁵⁾が行なったダットサン・ブルーバード1,000cc, 1959年型・既走行距離150,500kmについての測定値をも参考とした。

2-2-2 実験条件

(1) アイドル；

プリンススカイライン, 1,500cc, 1961年型車の走行を停止させた状態で、トランスミッションの位置を中立（ニュートラル）とした。アクセルペダル（スロットルバルブ）を踏込んで、エンジンの回転数を600～5,000rpmとした場合の排気成分ならびにエンジン要素を測定した。この場合に、エンジンの温度が低い（コールドスタート）と排気濃度に影響があること²⁹⁾から、約30分間のアイドル運転ののちに各測定を行なった。

(2) 定 速；

プリンススカイライン, 1,500cc, 1961年型車を平坦な舗装道路上で、一定の車速で走行させて測定した。走行速度はトランスミッションの位置によってつぎのとおりとした。すなわち、第一速（ローギヤー）では10～20km/h、第二速（セコンドギヤー）では15～30km/h、第三速（サードギヤー）では20～40km/h、第四速（トップギヤー）では30～80km/hである。

(3) 加 速；

プリンススカイライン, 1,500cc, 1961年型車を平坦な舗装道路上で走行させ、ある定速度からの加速条件について測定した。加速はいずれもアクセルペダルを十分踏込んだスロットル全開の状態とし、加速条件はトランスミッションの位置でつぎのとおりとした。すなわち、第一速では自動車の停止（アイドル）から10km/h、および20km/hまでの加速、第二速では10km/h定速から20km/hおよび30km/hまでの加速、第三速では20km/h定速から30km/hおよび40km/hまでの加速、第四速では30km/hと50km/h、40km/h定速から50km/h、50km/h定速から60km/hまでの各条件である。

(4) 減 速；

プリンススカイライン, 1,500cc, 1961年型車を平坦な舗装道路上で走行させ、ある定速速度からの減速条件について測定した。減速時間は京都市内での走行実験（第五章）から決定した。所定の終末速度までフットブレーキを使用して減速した。減速条件はトランスミッションの位置でつぎのとおりとした。すなわち、第一速で10km/h定速から0km/h（3.3～4.1秒）までの減速、第二速では20km/h定速から0km/h（4.6～4.7秒）までの減速、第三速では30km/h定速から10km/h（7.4～7.7秒）までの減速、第四速では40km/h定速から0km/h（8.1～10.8秒）、40km/h定速から20km/h（8.1～10.1秒）、50km/h定速から30km/h（8.8～10.3秒）、60km/h定速から40km/h（9.7～10.9秒）までの各条件である。実際の測定では減速時間を正確に規定することがきわめて困難であることから、上記の（ ）内の時間範囲を同一条件とみなした。

2-2-3 使用燃料

エッソガソリン, 78～85オクタン（比重0.7548）¹²⁵⁾を全実験を通じて使用した。燃料の特性は表-10に示す。

表 3-10 使 用 燃 料

蒸 気 圧	40.37.8℃	0.63
留 留 点	℃	33.0
10% 留 出	℃	50.5
50% “ “	℃	93.5
90% “ “	℃	164.0
終 点	℃	215.5
残 油 量	ℓ	1.0

2-2-4 測定項目ならびに方法

(1) エンジンの回転数

チュンナップテスターV-212（安全自動車，大阪）を使用した。

(2) 走行速度

タコグラフTCO-11，24分計（矢崎総業，東京）により，速度—時間曲線として記録した。

(3) 燃料消費

燃料消費計MT-500A（安全自動車，大阪）を使用した。

(4) 圧縮圧力

コンプレッションテスターG-1（東洋テック，大阪）を用いて，シリンダー内の圧縮圧を測定した。

(5) 吸入空気量

気化器入口に内径5.8mm，長さ150mmのパイプを取付け，その中央部に熱線風速計11-1311（日本科学，大阪）の受感部を固定し，吸入空気の流速の測定から算定した。

(6) 排気ガス量

排気口に内径100mm，長さ100mmのパイプを取付け，熱線風速計AMB-11（日本科学，大阪）を使用し，排気の流速の測定から算定した。

また，吸気の流速ならびに排気の流速はペン書き2ペン式記録計RA-25（柳本，京都）を使用してチャート紙上（チャート速度40～80mm/min）に記録させた。

(7) マニホールドバキウム

バキウムプレッシャーゲージPV-1（安全自動車，大阪）を使用して，インテークマニホールド内の真空度を測定した。

(8) 気液率（混合比）

コンパッションテスターTP-V（安全自動車，大阪）の受感部を排気口に取付けて測定するとともに，吸入空気量と燃料消費量から求めた。

(9) 排気温度

サーミスター温度計PSM102（三和電子，京都）を使用して，排気口の出口から15cm内側の位置で測定した。

(10) 排気中の無機ガス成分（CO，CO₂，O₂，H₂）

ガスクロマトグラフ5DH（柳本，京都）を使用して分離・定量した。検出器は熱伝導度型（最小検出電流1/256mA）で，検出器電流は180mAとした。分離カラム¹²⁸⁾にはActivated charcoalカラム（粒度60～80mesh，内径3mm，長さ750mm，ステンレスパイプ）およびMolecular Sieve5Aカラム（粒度60～80mesh，内径5mm，長さ200cm，ステンレスパイプ）を100°±1°Cのカラム温度で使用した。キャリアガスにはヘリウム（He）を用い，流速は20～30ml/min（カラム入口圧，0.2～0.8%）とした。記録計（2ペン式）感度は1mV/1sec/300mmフルスケールで，チャート速度は10～20mm/minとした。

(11) C₁～C₆炭化水素成分

ガスクロマトグラフ5DHに水素焰イオン化型検出器（最大感度2×10⁻¹¹A）を使用した。分離カラムにはdimethyl-sulfolane（25wt%，fire-brick C-22，粒度30～40mesh）^{35) 129)}を内径5mm，長さ5～7mのステンレスパイプに充填して使用した。また，C₄成分ならびにC₁～C₂成分の分離をよくするためにActivated Aluminaカラム（粒度20～30mesh，内径5mm，長さ50cm，ステンレスパイプ）^{123) 130)}をも併用した。カラム温度は0°C（氷水中）とし，キャリアガスにはヘリウム（He）を20～30ml/min（カラム入口圧，0.8～1.2%）で用いた。燃焼用の水素は10～15ml/min，空気は0.6～0.8ℓ/minの流速とし，記録計のチャート速度は10～40mm/minとした。

分析に供する試料の排気はマイラーバッグ³⁸⁾（容70～200ℓ，G.T. Schjeldahl Co., Minnesota, U.S.A.）

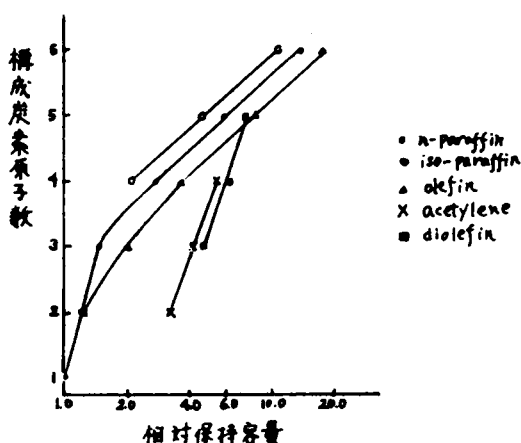
およびアルミナコーティングポリエチレンバッグ（容10～70ℓ）¹²⁵⁾に採取し、その0.5～2.0mℓを注射器で試料注入口から分離カラムに注入した。クロマトグラム上の成分ピークは常法¹²⁹⁾により定性・定量した。

2-3 測定成績ならびに考察

2-3-1 標準物質の特性

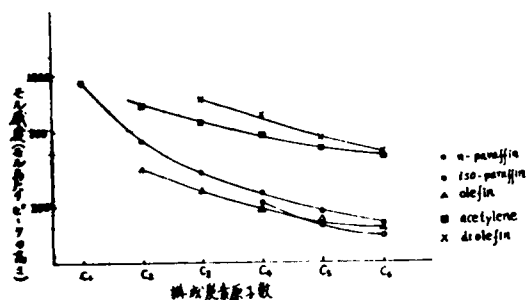
標準物質に用いたC₁～C₆炭化水素をn-パラフィン、i-パラフィン、オレフィン、ジオレフィンおよびアセチレンに分類し、それぞれの保持容量(Vr)がmethaneにたいして示す相対保持容量, Rel.Vr.（カラム圧による補正值）¹³¹⁾を構成炭素原子数について図3-14に示す。n-パラフィンとオレフィン系ではC₃(propane, prop-

図3-14 構成炭素原子数と相対保持容量(CH₄ = 1.00)



ylene)を境にして勾配の異なった直線関係がみられ、他の成分系では構成炭素原子数とlog.Rel.Vrとがおおむね直線関係を示す。¹³¹⁾n-パラフィンとオレフィン系での変曲(C₃)は庄司ら¹³²⁾が述べたように、同一成分系でもカラム温度よりも高い沸点成分と低い沸点成分とで勾配が異なる。水素焰イオン化検出器の検出原理は第二章第2節で述べたごとく、いまだ十分に解明されていないが、炭素-水素結合をしている炭素原子数にだいたい比例した信号が発生する。¹³³⁾標準物質のキャリブレーションから、各成分の1モルあたりのピーク高値(mol感度)と構成炭素原子数との関係を各成分について図3-15に示す。各成分系とも構成炭素原子数の増加につれてモル感度は低下し、その減少傾向は成分系によ

図3-15 構成炭素原子数とモル感度



って異なり、モル感度にピーク面積値を用いても同様である。最近、水素焰イオン化検出方式を利用したFIAが実用化され¹³³⁾炭化水素を総合した1つのピークとして測定されている。水素焰イオン化方式による各成分のモル感度は必ずしも等しくないから、FIA値は自動車排気のような組成の複雑な場合には、実際の炭化水素の含量とは若干異なった値を示す。^{8,1)}このような成分によるモル感度の相違は、米国やわが国で排気の試験法に採用されたNDIR.(n-hexane)の場合に著しく、大略の全炭化水素量の増減傾向を把握する場合でも、むしろFIA測定の方

が有利である。⁵⁾著者ら¹²⁵⁾は、ダットサンプルーバード、1,000cc、1959年型車(アルドル時)の排気の炭化水素成分(C₁～C₆)をGLCで測定した値について、NDIRのモル感度からn-hexane値に換算し、表3-11の結果を示した。炭化水素の合計で、n-hexane換算値はGLC値の59.7～66.9%を示し、排気組成とくにオレフィ

表3-11 検出炭化水素の *n*-hexane 換算値 (ppm)

成分名	600	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
pentane	1074.8	870.4	702.4	568.8	465.5	385.4	323.0	240.2	176.3	118.9
olefin	802.1	438.8	328.7	274.4	184.2	150.6	124.6	123.8	127.8	146.0
diolefin	179.5	105.7	101.0	78.7	59.9	41.7	36.5	43.2	81.0	48.1
acetylene	119.2	101.2	84.8	70.2	58.6	53.6	52.8	49.0	53.2	82.2
Total	2175.6	1516.1	1296.9	992.8	768.2	581.3	456.9	456.2	518.3	365.2
実測の濃度 ppm	3646.7	2540.5	2015.6	1421.2	1146.4	882.2	728.4	688.9	780.6	842.2
実測の値に対する割合%	58.7	58.8	60.9	61.0	61.9	62.8	63.7	67.1	66.4	66.9

ン含量によって大きく影響される。Jones⁵²⁾ は FIA 値と GLC 値とは大差がないと述べ、Sigsby⁵⁶⁾ は FIA 値は NDIR 値の 1.0～2.9 倍 (平均 1.9 倍) を示すと述べており、上表の成績についてもほぼ同様のことがみとめられる。

2-3-2 アイドル時の排気

(1) エンジンの出力

実験車 (プリンス、1961 年型) の定格時にはシリンダー内の圧縮圧力が 10.2 ㏩ (3000 rpm) で、圧縮比が 8.3 である。¹²⁷⁾ しかし、この自動車は本実験までに 166,480 Km の走行をしており、エンジン各部はかなり老化損耗している。実験時でのシリンダー内の圧縮圧力は 6.3 ㏩と定格時の 61.8% に低下した。シリンダー内の圧縮圧力はピストンリングの摩耗やバルブの不良などによるガスもれで低下し、所定の圧縮比がえられず、出力も熱効率もともに大きく低下する。^{134) 135)} 実用的にはこの程度に圧縮圧が低下するとエンジンのオーバーホールが必要とされている。¹³⁶⁾

ここで、シリンダー内の圧縮圧力の低下と圧縮比の減少が比例する¹³⁷⁾ として、実験時のエンジンの出力を推定するとつぎのとおりである。すなわち、実験時のエンジンの圧縮比は定格時の 61.8% である 5.1 に低下していると仮定する。エンジンの圧縮比と平均有効圧、 P_{me} (㏩) の関係は次式¹³⁸⁾で示される。

$$P_{me} = 0.97 \eta_m (\epsilon + 2.5) \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

ここで、 η_m は機械効率、 ϵ は圧縮比である。

定格時の圧縮比を ϵ_1 、平均有効圧を P_{me1} とし、実測時の圧縮比を ϵ_2 、平均有効圧を P_{me2} とし、機械効率には変化がないと仮定すると、実験時のエンジンの平均有効圧、 P_{me2} はつぎのように示される。

$$P_{me2} = \frac{P_{me1}}{\epsilon_1 + 2.5} \cdot (\epsilon_2 + 2.5) \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

また、4 サイクルエンジンの正味出力、 Le (PS) は次式¹³⁹⁾で示される。

$$Le = A \cdot S \cdot P_{me} \cdot N \cdot Z / 90000 \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

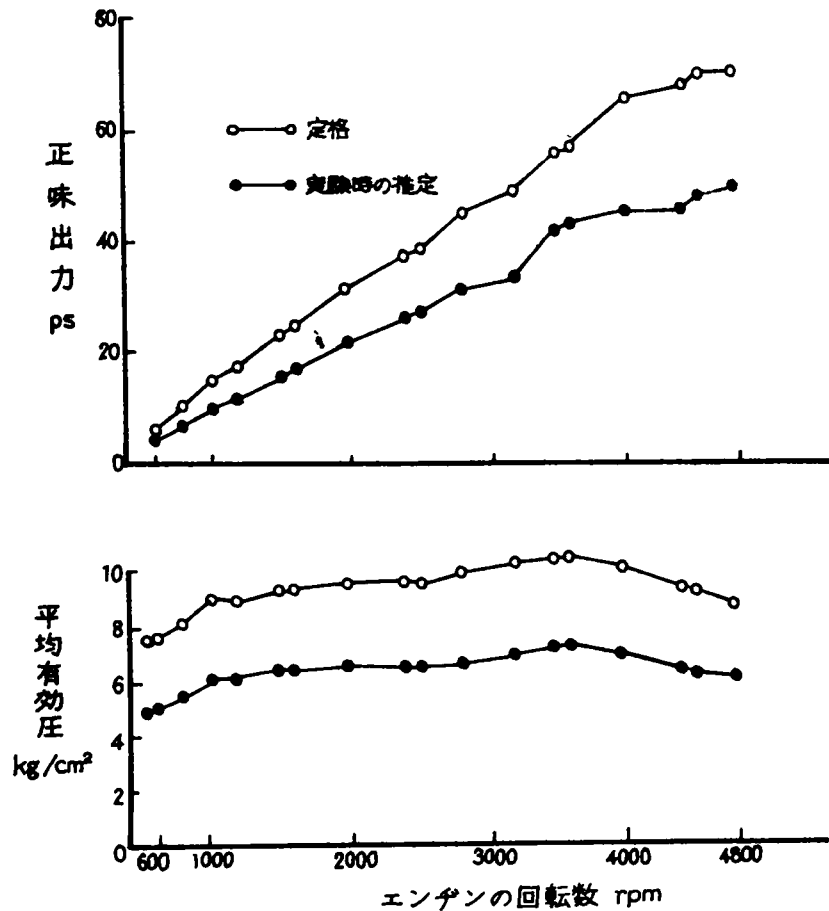
ここに、 A ; ピストンの断面積 (cm^2)、 S ; 行程 (m)、 N ; 回転数 (rpm)、 Z ; シリンダー数

本測定に使用したプリンス、スカイライン 1,500 cc、1961 年型車の場合¹²⁷⁾には $A = 44.15 cm^2$ 、 $S = 8.4 \times 10^{-2} m$ 、 $Z = 4$ である。

サイクル中のガスによって、実際になしとげられた指示圧力に相当する指示平均有効圧に機械効率を乗じた正味平均有効圧は、エンジンの回転数によって異なり、¹³⁷⁾ 実験車の性能曲線¹²⁷⁾と式 3-4 から求めた定格時 (全負荷時) の正味平均有効圧、および正味出力を回転数について図 3-16 に示す。また、図には実験時の推定圧縮比から求めた平均有効圧、および正味出力の値をも示す。実験車の定格時での平均有効圧は 7.58～10.40 ㏩で、実験時は 5.33～7.32 ㏩に低下している。これらのことから、エンジンの正味出力は定格時の 70.2～70.5% (平均 70.4%) に減少しているものと推測された。

図3-16 回転数による平均有効圧および出力

プリンス スカイライン 1500cc 1961年型車



また、同様の測定からプリンス・スカイライン1500cc、1964年型車、および1967年型車の正味出力はほぼ格定値¹²⁷⁾を示した。

(2) 燃料消費率

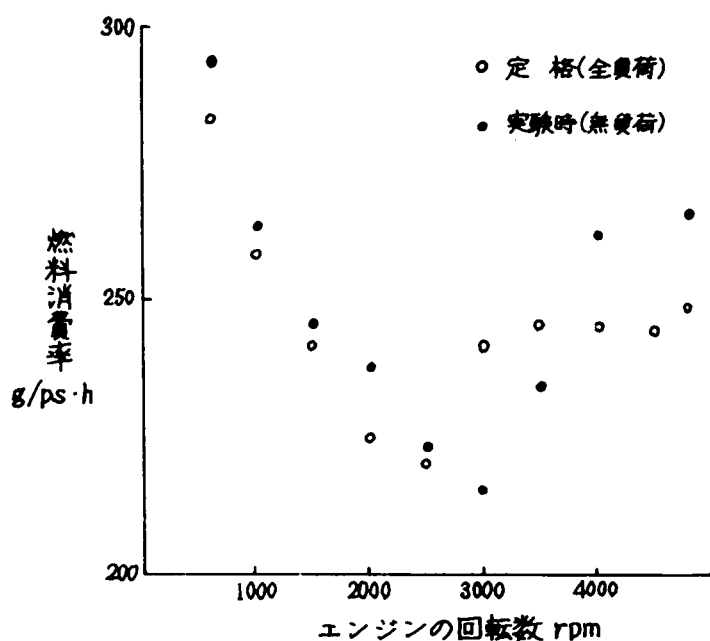
一般に、単位時間あたりの燃料の消費量だけではエンジンの燃料消費の多少を比較しえないことから、正味燃料消費率、 be 、は次式¹³⁹⁾で示される。

$$be = 1000B / Le \quad \dots\dots\dots (3-5)$$

ここに、 B ；エンジンの1時間あたりの燃料消費量 (kg/h)、 Le ；正味出力 (PS)

実験車 (プリンス1961年型) の性能曲線¹²⁷⁾ (全負荷時) から求めた正味燃料消費率と、本実験時 (アイドル) の燃料消費量から、式3-4および式3-5で求めた正味燃料消費率を回転数について図3-17に示す。自動車用エンジンの燃料消費率は200~280 g/ps・hで、負荷条件とともに増大する。¹³⁷⁾ 実験車では600rpmで293.5 g/ps・hで定格時 (283.3 g/ps・h) よりやや大きく、回転数600~2500rpmでは約224~294 g/ps・hで、定格時 (約221~283 g/ps・h) よりわずかに大きい。3000~3500rpmでは定格時 (241.7~245.8 g/ps・h) よりもかなり小さく (215.7~234.5 g/ps・h)、4000~4800rpmでは262.2~265.5 g/ps・h¹³⁴⁾と定格時 (244.2~248.3 g/ps・h) よりかなり大きい。回転数3000rpm以上での大きな違いは、無負荷状態で測定したため¹³⁴⁾とみられる。このような無負荷時には、エンジンがある程度以上の回転数になるとクランクシャフト (フライホイール) の慣性による回転効果¹³⁷⁾のために、燃料の吸入量が少なくてもエンジンのアイドル回転が維持できるものと考えられる。

図 3-17 エンジンの回転数と燃料消費率



(3) 吸入空気量・気液率

エンジンの吸入行程ではシリンダーの体積、すなわち、行程容積だけの新気（燃料と空気の混合気）が理論的には吸入されるはずであるが、実際には温度、圧力、シリンダー内の残留ガス、空気密度などの影響を受けて理論吸入量に達しない。¹⁴⁰⁾ この場合のエンジンの吸入能力として示される容積効率 η_v (%)は次式¹³⁷⁾で示され、エンジンの構造ならびに運転（負荷）状態による吸気の効率を表わす。

$$\eta_v = \frac{V_a}{V_h} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

ここに、 V_a ；吸入した新気をその時の大気状態（15℃、760mmHg）に換算した値、 V_h ；行程容積（シリンダー体積）

また、吸入空気量と供給燃料の比を気液率 R （混合比、空燃比）とし、つぎのように定義されている。¹³⁹⁾

$$R = \frac{\text{吸入空気量 } K_g}{\text{吸入燃料量 } K_f} \quad \dots\dots\dots (3-7)$$

気液率は燃料の燃焼状態をみるための指標とされ、ガソリンの平均組成¹³⁹⁾を $C=85.6\%$ 、 $H=14.4\%$ として求めた理論気液率（混合比）は14.8である。ガソリン機関では吸入気がある範囲より薄く（air rich, fuel lean）ても、また濃く（air lean, fuel rich）ても燃焼ができなくなり、実際の燃焼範囲はガソリンで8～22の気液率である。¹³⁴⁾ エンジンの出力は理論上は14～15の気液率で最大を示し、15をこえるときには出力の低下が大きい。¹³⁴⁾ また、多シリンダー機関ではシリンダーごとの気液率の分布が均一でないために、理論気液率よりわずかに濃い気液率で最大出力がえられる。¹³¹⁾ 供給された燃料が完全燃焼するために必要な気液率（理論混合比）と、実際の状態での気液率の割

合を空気過剰率, λ , で表わし, エンジンにたいする空気と燃料の供給状態の判定に用いられる。ガソリン機関の空気過剰率は0.85~1.00で, 軽負荷の場合では1.5~2.0である。¹³⁴⁾

ここで, 気化器入口における空気流入量を v (m^3/min), 燃料消費量を B (g/min), 燃料の平均分子量を M , エンジンの回転数を N (rpm), シリンダー数を Z , シリンダー直径を b (cm), ピストンの行程 S (cm), 大気温度を t ($^{\circ}\text{C}$), 大気圧を 1 atm とする。標準の大気温度を 15°C とすると, 4サイクルエンジンの1行程あたりの吸入空気量は $2\pi b^3 N$ (m^3) で, 1気圧 $t^{\circ}\text{C}$ における1行程の吸入燃料の体積, X (m^3) は

$$X = \frac{2 \times 22.4 (273 + t) \cdot B \times 10^{-5}}{273 \cdot M \cdot N} \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

となる。それゆえ, 容積効率, η_v (%) は式3-6からつぎのように表わされる。

$$\eta_v = \frac{V_a}{V_h} \times 100 = \frac{\frac{2\pi b^3 N}{4} + \frac{22.4 \cdot B (273 + t) \cdot 10^{-5}}{273 \cdot M \cdot N}}{\frac{1}{4} \cdot d^2 \cdot S \cdot \pi \cdot Z \cdot 10^{-6}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3-9)$$

燃料の平均分子量を117¹³⁴⁾として, 実験車(プリンス, 1961年型)について標準大気状態(15°C , 1 atm)におけるアイドル時の容積効率を算出した。同時に, 吸入空気量と燃料消費量から求めた気液率, および理論混合比を, 1.48とした場合の空気過剰率を算出し, その結果をエンジンの回転数について表3-12に示す。一般に, 容積効率には回転数

表3-12 アイドル時の出力, 気液率, 容積効率

プリンス・スカイライン 1500cc, 1961年型					
回転数 (rpm)	PS	燃料消費量 (g/min)	吸入空気量 (m^3/min)	気液率	容積効率 (%)
1000	3.5	0.158	47.7	7.9	0.35
1200	4.0	0.201	53.4	8.5	0.30
1500	6.0	0.412	49.7	7.9	0.35
2000	10.0	0.523	47.7	7.6	0.53
2500	14.6	0.615	46.6	8.2	0.57
3000	18.1	0.508	48.1	8.2	0.59
4000	26.5	0.464	50.2	7.6	0.52

が大きく影響するもので, 800~4,400 rpm では7.8~8.7%を示す¹³⁴⁾が, 実験車のアイドル時は4.6~5.5%と非常に低い。容積効率はエンジンの背圧が高い場合にも大きく低下する¹⁴¹⁾とされており, 実験車の弁機構の老化損耗によりシリンダー内の残留ガス量がかかり多く, このように低い容積効率を示したものと考えられる。

エンジンに吸入された空気量, および燃料量から式3-7で求めた気液率は, コンパッションテスターでの測定値とほぼ同様であったが, コンパッションテスターの応答速度が遅く, 運転条件が変化する場合にはこの装置による測定は適当でない。実験車のアイドルでの気液率は7.6~8.4ときわめて濃厚燃料状態を示し, ガソリンの燃焼範囲のほとんど下限に近く, シリンダー内の燃焼効率が著しく低い。

このため空気過剰率も0.53~0.59と著しく小さく, 多量の未利用ガソリンが排気とともに放出されているとみられ, それにはエンジンの吸排気バルブの作動タイミングの不良化が大きく影響している。¹⁴¹⁾ 著者ら¹²⁵⁾が行なったダットサン, ブルーバード, 1000cc, 1959年型車での気液率はアイドル時の600 rpm で1.04を示し, 一般のアイドルでの気液率1.1~1.2¹⁴⁰⁾と大差はなく, 燃料の燃焼状態はかなり良好であることを示した。

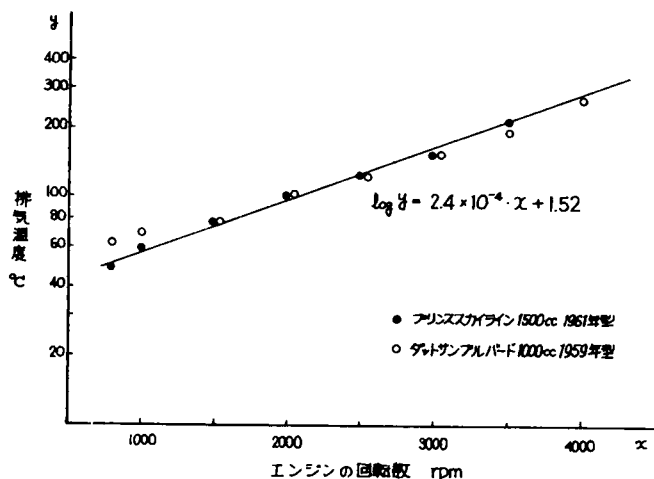
一般に, 気液率が小さい場合には, 排気中の炭化水素, COおよび H_2 濃度が大きく, 理論混合比に近づくにつれていずれも減少し, 気液率が1.8をこえると炭化水素濃度が再び増大する。¹³⁴⁾ NO_x濃度は気液率が1.7付近で最大を示す¹³⁴⁾とされており, 実験車(プリンス, 1961年型)の排気の炭化水素およびCO濃度は非常に高いとみられる。

(4) 排気温度, 排気量, マニホールドバクウム

エンジンの燃焼ガスの温度は800 $^{\circ}\text{C}$ をこえることは少なく, 普通は750 $^{\circ}\text{C}$ 程度で, エキゾーストマニホールド, マフ

ラーを通過する間に放熱冷却されて大きく低下する。¹³⁷⁾ 実験車（プリンス）のアイドル時に排気口で測定した排気温度を回転数について図3-18に示す。図には著者ら¹²⁵⁾が行なったダットサン（1,000cc, 1959年型車）をも示す。600 rpm でプリンスの排気温度は49℃、ダットサンは63℃とやや高く、エンジンの回転数とともに排気温度はいずれも大

図3-18 アイドル時の排気温度



きく上昇する。3,500 rpm ではプリンスが216℃、ダットサンは197℃に達しているが、回転数による排気温度の上昇傾向は両車種の間にほとんど差がない。

インテークマニホールドバキュームとその変動は気化器の調整や、弁の開閉時期などエンジンの機能の良否を示すもので、正常状態のアイドル時での低、中速運転では45～52.5 cmHg である。¹³⁷⁾ 実験車（プリンス）のアイドル時のマニホールドバキュームを表3-13に示す。回転数600～2,000 rpm でのバキュームは50～55 cmHg で、回転数の上昇につ

表3-13 アイドル時の排気ガス量とマニホールドバキューム

回転数 rpm	プリンススカイライン 1500cc 1961年型		ダットサンアルパード 1000cc 1959年型	
	マニホールドバキューム cmHg		排気ガス量 ml/min	
	範囲	平均	理論値	実測
600	50-55	53	0.445	0.360
1000	49-53	52	0.742	0.446
1500	49-54	52	1.113	0.526
2000	48-52	50	1.484	0.679
2500	45-50	48	1.855	0.773
3000	43-47	45	2.226	0.925
3500	40-45	43	2.597	—
4000	40-43	42	2.968	1.242

れて低下し、2,500～4,000 rpm では40～48 cmHg を示した。この場合に、バキューム値はいずれもかなり大きな巾をもっており、バキューム計の示度は大きく振動したことから、実験車の吸排気弁の機能がかなり低下している¹³⁷⁾ ことがみとめられた。

一般に、4サイクルエンジンの理論排気量は（シリンダー容積）×（1/2回転数）で表わされている。¹³⁸⁾

排気口で測定した排気ガス量（ml/min）を標準状態

（15℃、1 atm）に換算した値、および理論排気量

を回転数について表3-13に示す。表にはダットサン1,000cc¹²⁵⁾についても示す。600 rpm での排気量はプリンスでは0.360 ml/min、ダットサンでは0.282 ml/minで、いずれも回転数とともに増大するが、理論排気量にたいする割合は減少する傾向を示す。その割合はプリンスの600 rpm は77.4%で、4,000 rpm で41.8%と低下する。エンジンの混合気の吸入方式がピストンの上下動による減圧吸引であるために、吸入混合気量がシリンダー容積を下まわ

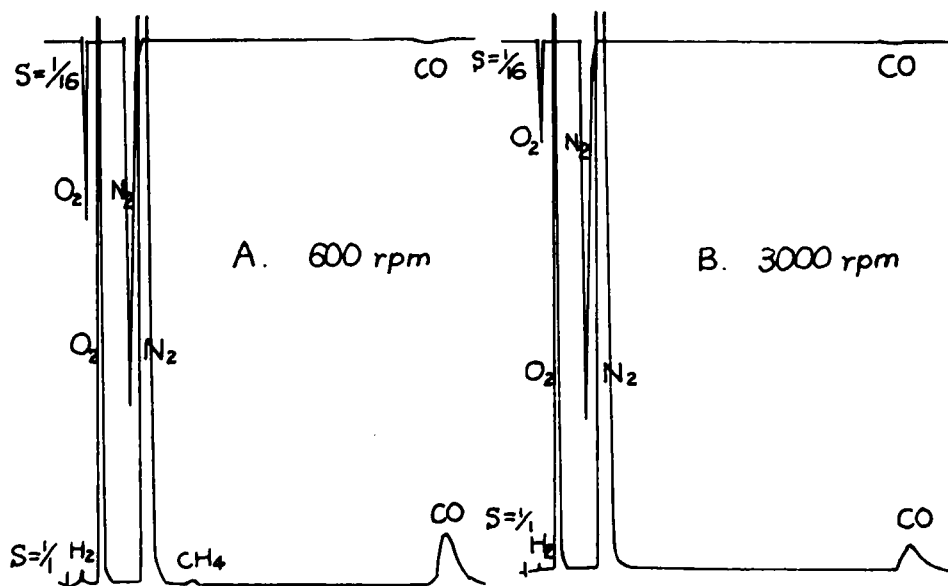
エキゾーストマニホールド、エキゾーストパイプ、マフラーを通る間に放熱冷却されて凝縮することもある。

(5) 無機ガス成分 (CO , CO_2 , H_2 , O_2)

自動車排気の無機ガス成分の測定には、オルザット法¹⁴¹⁾、赤外分析法¹⁴²⁾などが用いられていたが、同時に多種成分の分析が高い精度のできるGLCがもっとも有利とされ、最近さかんに利用されている。¹⁴³⁾本実験では、熱伝導度型検出器を用い、Activated charcoal カラムで H_2 と CO_2 を、Molecular sieve カラムで O_2 および CO を測定した。排気中の $\text{C}_1 \sim \text{C}_3$ 炭化水素は分離せず、窒素酸化物は N_2 ピーク中に含まれる。無機ガス成分のクロマトグラム例を図3-19に示す。アイドル時にエンジンの回転数600rpmと3,000rpmについての分析例である。この実験

図3-19 無機ガスの分析例 (アイドル時のCO)

カラム; Molecular sieve 5A

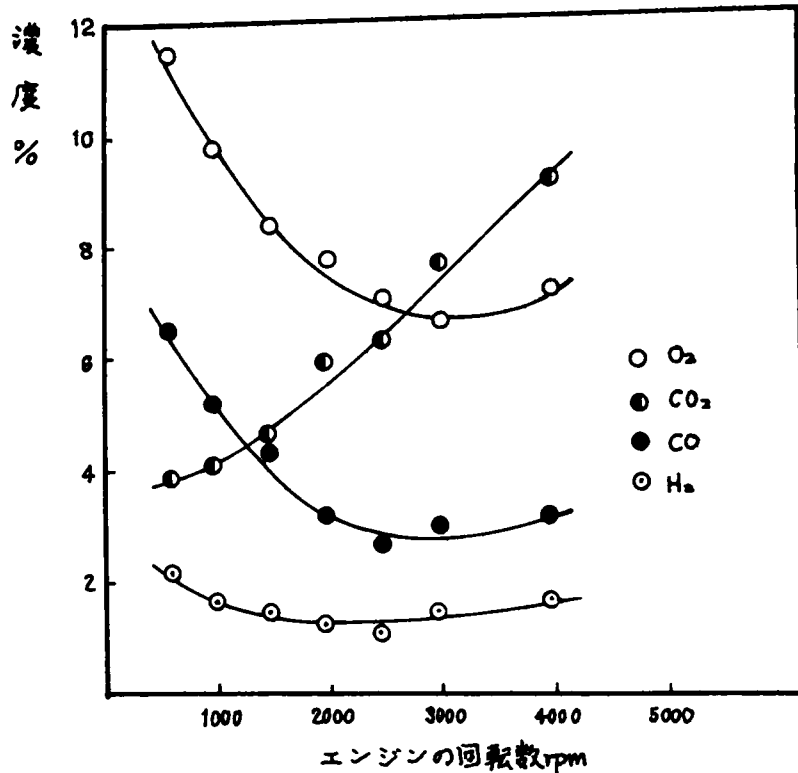


に使用したガスクロマトグラフ5DHの記録計は2ペン方式で、1回の分析で感度の異なった2つの記録が同時にできる。図には記録計の感度を1/1および1/16(1/32)とした2種のクロマトグラムを示す。

実験車(プリンス、1961年型)のアイドル時に測定した無機ガス成分の濃度を回転数にたいして図3-20に示す。回転数600rpmでの無機ガス組成は CO 6.5%、 CO_2 3.9%、 H_2 2.0%、 O_2 11.5%で、 CO 濃度が著しく大きく CO_2 濃度がきわめて小さく、 O_2 濃度が異常に大きい。 CO 、 O_2 および H_2 濃度はいずれも600rpmから回転数の増大につれて減少し、2,500~3,000rpmでもっとも低い値(H_2 1.1%、 O_2 6.7%、 CO 2.7%)を示し、さらに回転数が上昇すると各成分ともやや増加する。 CO_2 濃度は全く逆の傾向で、600rpmで3.9%と著しく低く、回転数の上昇につれて増大して、4,000rpmでは9.4%を示す。これらのことから、回転数2,500~3,000rpmでは吸入気の燃焼効率が高いたことがみとめられる。排気の CO_2 は供給燃料と吸入空気(O_2)の正常な燃焼で生じ、Hurn³⁹⁾は、4サイクルエンジンのアイドル状態(無負荷、600rpm)では CO_2 8.8~10.1%、 CO 6.7~7.8%、 H_2 2.8~3.3%、 O_2 0.6~0.7%であると述べた。実験車(プリンス)の CO_2 濃度はきわめて低く、 CO 濃度がかなり大きく、 O_2 濃度が著しく大で、混合気の燃焼状態が非常に悪く、エンジンの老化損耗やバルブタイミングの不良などのために燃焼排気の引き戻し²²⁾による混合気の希釈などが生じているものと考えられる。

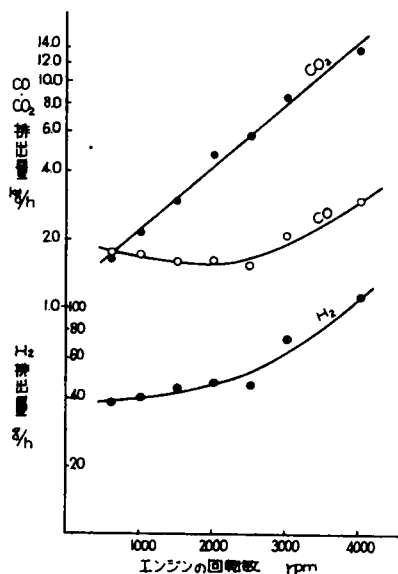
実際の都市走行でのアイドル状態は、自動車が交差点などで一時停止する場合で、本実験車はその際に非常に多量の未燃焼成分を放出する。

図3-20 エンジンの回転数と無機ガス組成
アイドル時



各回転数における排出ガス量とCO、CO₂ およびH₂ の濃度から求めた時間あたり排出重量 (g/h) と回転数との関係は図3-21のとおりである。CO排出量は回転数600rpm が1,755 g/h で、回転数の上昇につれてわずかに減少し、2,500rpm でもっとも小さい (1,565 g/h) が、3,000rpm では2,088 g/h に増加する。H₂ 排出量は

図3-21 エンジンの回転数によるCO、CO₂ および
H₂ の排出量 idle 時
プリンススカイライン1500cc、1961年型



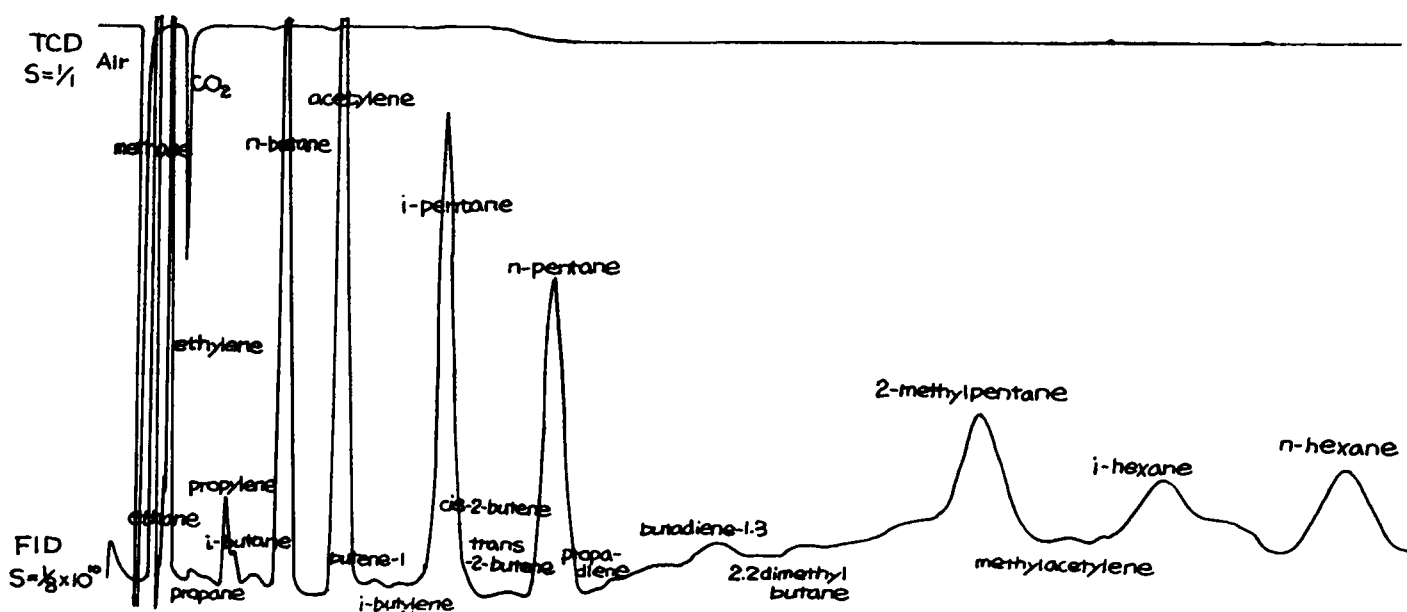
600rpm が38.6 g/h で、回転数とともに増す。CO₂ 排出量は600rpm での1,654 g/h からほぼ直線的に増加する。エンジンの回転数600～2,500では、排気のCO濃度は減少するが、排出ガス量が増大するから、ほぼ同程度の排出量となり、さらに高い回転数ではCO濃度が増大するから排出量が大きく増す。H₂ も同様で、CO₂ 濃度は回転数とともに増大するために排出量が直線的に増加する。著者ら¹²⁵⁾が行なったダットサン (1959年型) のアイドル (600rpm) でのCO排出量は2,094 g/h で、本実験車 (プリンス) の値よりやや大である。

(6) 炭化水素成分

自動車排気の炭化水素の分析にGLCの利用は第二章、および本章第1節で述べたとおり近年広く利用されつつある。¹⁴²⁾ 本実験では dimethyl sulfolane カラム、および水素焰イオン化検出器を使用した。実験車 (プリ

ス、1961年型)のアイドル時(600rpm)の分析例を図3-22に示す。アイドル時の排気のクロマトグラムはほぼ同様のパターンで、23~30個の炭化水素のピークが検出された。図には上をベースラインとした熱伝導度型検出器(180mA)による記録と、図の下をベースラインとした水素焰イオン化検出器による同時測定の結果を示す。熱伝導度型検出器の感度は水素焰イオン化検出器の $1/500 \sim 1/1000^{133)}$ で、3~5個のピークしか出現しない。

図3-22 炭化水素の分析例(アイドル600rpm時) カラム; DMS



実験車（プリンス）のアイドル時にエンジンの回転数を600～4,000 rpm に変えた排気の炭化水素は表3-14に示す。C₁～C₆ 成分の合計22種が測定され、600 rpm では約5,080 ppm と濃度はもっとも高く、回転数の上昇につれて減少し、4,000 rpm では約1,490 ppm と600 rpm の29.3%に減少した。ダットサン（1959年型）の場合¹²⁵⁾には600 rpm で約3,650 ppm で、4,000 rpm では600 rpm の19%に低下するが、5,000 rpm では約840 ppm と増加した。このような傾向は本実験車（プリンス）も同様で、CO濃度の変化傾向とも同様で

表3-14 アイドル時の炭化水素

成分	600	1000	1500	2000	2500	3000	4000
methane	882.9	600.6	532.9	463.4	367.3	294.4	285.4
ethane	67.7	50.9	29.2	27.3	30.1	41.5	29.2
propane	45.7	27.1	20.6	28.0	20.6	20.6	21.4
n-butane	231.1	539.6	726.7	287.9	330.2	160.7	99.6
i-butane	73.3	75.8	81.4	83.4	47.7	31.9	35.9
n-pentane	307.1	387.1	232.3	137.6	98.9	87.1	95.7
i-pentane	308.0	290.2	197.4	100.1	95.4	52.2	80.1
2,2-dimethylpropane	158.0	90.2	77.4	60.1	55.4	42.2	30.1
n-hexane	127.2	105.6	28	78.6	30.6	44.4	31.8
3-methylpentane	125.1	96.9	112.2	104.4	79.5	70.5	58.3
2-methylpentane	90.0	113.4	140.1	123.3	86.8	70.1	82.3
2-methylbutane	54.8	36.4	25.8	21.6	18.4	16.6	16.7
ethylene	500.1	423.9	212.8	252.2	267.9	267.9	260.6
propylene	214.4	189.3	200.6	54.1	109.3	100.3	106.6
butene-1	89.6	97.7	40.6	62.2	46.6	57.1	32.7
i-butylene	111.4	55.0	51.0	27.2	27.6	27.0	23.4
cis-2-butene	34.6	26.7	70.9	55.2	34.0	26.1	25.3
trans-2-butene	22.1	6.1	4.6	25.1	28.2	40.1	23.8
butadiene-1,3	52.1	27.3	23.1	27.3	4.6	4.1	4.1
acetylene	12.5	14.1	24.2	11.5	15.3	1.4	1.2
styrene	514.2	244.2	124.4	111.5	112.2	125.1	111.5
vinylacetylene	37.1	11.1	25.4	11.1	11.1	11.1	7.2
合計	5772.2	5071.2	5127.2	4111.2	3522.2	2573.2	2479.2

ある。また、検出成分の種類も本実験車（プリンス）とダットサン¹²⁵⁾はほとんど同種で、個々の濃度が異なる。

実験車（プリンス、1961年型）の炭化水素値はダットサン（1,000cc）¹²⁵⁾よりも高く、炭化水素濃度をシリンダーの内表面積と容積の関係から、気筒容積の小さいものほど高濃度である²²⁾と述べられているのと逆の結果がみられた。しかし、実験車の既走行距離が約17万km（プリンス）と著しく大きく、ダットサン¹²⁵⁾は既走行距離が約15万kmであるが、約12万km程度のときにエンジンのオーバーホールがなされているために厳密には比較できない。すなわち、エンジンのオーバーホールによって未燃焼成分の排出が大巾に防止され、その減少率は30%以上にも達するといわれている。²²⁾

実験車（プリンス）の成績からC₁～C₄とC₅～C₆、パラフィン、オレフィン、C₃～C₄ジオレフィン、アセチレンに分類して、エンジンの回転数による濃度変化を示すと図3-23のとおりである。パラフィンとオレフィンは回転数が600 rpm から2,500 rpm に増すにつれて大きく減少し、ジオレフィンは約30～100 ppm で大きな変化がない。アセチレンは600 rpm では約760 ppm を示すが、回転数が1,000 rpm に増すと約220 ppm と600 rpm の1/3以下と大巾に減少する。

表3-14からみられるように600 rpm では検出成分のなかでもmethane, n-butane, ethylene, acetyleneが約250～310 ppm, i-butane, 2,2-diMe-propane, n-hexane, 3-Me-pentane, 2-Me-pentane, butene-1, i-butylene が約90～130 ppm と比較的高い濃度を示し、ethane, 2,2-diMe-butane, cis-2-butene, trans-2-butene, butadiene-1,3 は約55～70 ppm でやや多い。炭化水素の含量が比較的大きいものを表3-15に示す。表には回転数600 rpm とアイドル全平均（600～4,000 rpm）について示し、ダットサンブルーバード¹²⁵⁾の場合についても示す。検出成分のなかでmethane, n-butane,

図3-23 エンジンの回転数による炭化水素濃度
idle時 プリンススカイライン1500cc 1961年型

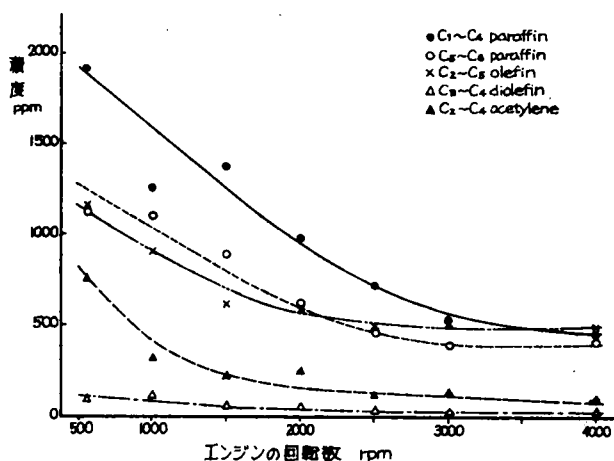


表3-15 アイドル時の主なる成分の含量%

成分	プリンスライオン 600 rpm		ダットサン 600 rpm	
	600 rpm	1200 rpm	600 rpm	1200 rpm
methane	17.4	17.4	17.5	10.0
ethane	1.3	1.6	9.7	12.5
propane	0.9	1.0	2.4	3.9
n-butane	16.5	14.8	10.4	14.4
i-butane	1.8	2.4	11.9	10.7
n-pentane	6.1	6.6	2.3	3.3
i-pentane	6.1	5.4	2.3	3.9
n-hexane	2.5	2.6	1.7	1.8
ethylene	11.8	12.7	22.5	22.8
propylene	5.0	6.0	12.7	9.8
acetylene	14.3	7.6	2.6	4.5
3-Me-pentane	2.5	3.8	0.3	0.8
2-Me-pentane	1.8	4.1	0.6	2.2

ethylene は両車種とも約10~23%とかなり大きい含量を示すが、ダットサンで約9~12%と比較的大きいethane, propylene, i-butane がプリンスではさほど大きくない。プリンスのn-pentane, i-pentane, acetylene, 3-Me-pentaneの割合はダットサンよりもかなり大きい。Heaton³⁸⁾ は1957年型車のアイドル時に合計1,693 ppmのC₁~C₆炭化水素成分を検出し, methane 729 ppm (43%), ethylene 287 ppm (17%), acetylene 483 ppm (29%)の濃度が大きく、これらが検出合計の大半を占めると述べ、Rose⁵⁰⁾ はアイ

ドルでの炭化水素濃度は2,800~11,000 ppm(平均6,340 ppm)であると述べている。エンジンについての記載がないから厳密な比較はできないが、本測定値(プリンス)は濃度に大差はなく、検出成分の構成比が大きく異なる。

実験車(プリンス)の炭化水素の構成比はエンジンの回転数によってもかなりの違いがみられる。回転数600~4,000 rpmについての平均構成比はパラフィン63.2% (C₁~C₅; 18.9%, C₃~C₅; 18.2%, C₅~C₆; 26.1%)、オレフィン26.2% (C₂~C₅; 18.7%, C₄~C₅; 7.5%), ジオレフィン2.0%, アセチレン8.5%である。しかし、600 rpmではパラフィン60.0%, オレフィン23.1%, ジオレフィン1.9%, アセチレン15.0%を示し、アセチレンの占める割合が非常に大である。ダットサンの場合¹²⁵⁾ではアイドル時の全平均でパラフィン62.3%, オレフィン32.6%, ジオレフィン0.4%, アセチレン4.7%で、本測定におけるプリンスの割合にくらべてオレフィンがやや大きく、ジオレフィンおよびアセチレンの割合がかなり小さい。これらのことから、アイドル時の排気組成がエンジンの種類によって大きく異なることがみとめられる。

実験車(プリンス)について、パラフィン、オレフィン、ジオレフィン、アセチレンの600 rpmにおける濃度を基準にして、エンジンの回転数の増大による変化を求めた。回転数の上昇によるパラフィンとオレフィンの減少傾向はほぼ同様で、600 rpmでの値にたいして1,000 rpmでは約79%, 2,000 rpmでは約51~53%, 3,000~4,000 rpmでは約29~44%に低下する。ジオレフィンは1,000 rpmで11.8.2%と600 rpmでの値よりも高い濃度を示すが、1,500~4,000 rpmでは600 rpmの約30~46%に減少し、この間では回転数による大きな変化はない。アセチレンは1,000 rpmで約41%と最も大きく減少し、4,000 rpmでは約11%である。これらのことから、エンジンの回転数が増大するとアセチレン濃度が最も大きく減少し、ジオレフィンは1,000 rpmでやや増加する。すなわち、排気組成がエンジン条件に大きく影響されることがみとめられる。

Heaton³⁸⁾ はアイドル時には供給燃料の重量にたいして2.04 wt%の未燃焼炭化水素が排出されると述べている。実験車(プリンス)について排出ガス量と各成分の濃度から求めた炭化水素の排出重量を回転数について表3-16に示す。アイドル600 rpmでの排出量は約206 g/hで、供給燃料にたいする排出比は約13.2 wt%と、非常に多量の未燃焼成分が排出される。回転数の上昇につれて重量比は低下し、4,000 rpmでは約1.8 wt%と、混合気の燃焼状態が大きく向上したことを示す。ダットサンの場合¹²⁵⁾にも600 rpmでは10.3 wt%と非常に大きく、4,000 rpmでもなお3.0 wt%で本測定(プリンス)の値にくらべて大である。山岸¹⁴⁴⁾は供給燃料の1.5~2.0 wt%が排気として放出されると述べており、本測定でのアイドル時(600 rpm)の値は著しく大きく、前述のCO₂の排出量が非常に小さい値を示したことから、エンジンの老化損耗が燃焼効率を大きく低下させているものと考えられる。

表3-16 炭化水素の排出量 (g/h)
(アイドル)

回転数 rpm	600	1000	1500	2000	2500	3000	4000
C ₁ ~C ₄ paraffin	64.3	52.8	76.2	61.9	54.9	40.5	43.5
C ₅ ~C ₆ paraffin	77.5	95.3	93.9	84.2	70.4	69.8	102.0
olefin	41.4	41.6	34.9	41.0	37.5	46.8	56.0
diolefin	4.3	6.4	3.0	3.8	2.8	3.4	5.1
acetylene	18.5	9.8	8.1	11.5	6.3	8.2	8.0
合計	205.9	205.8	216.2	202.5	172.0	168.8	215.0
燃料消費量 g/h	1555.6	2733.7	4034.4	5211.9	6168.6	7463.2	12297.2
wt%	13.24	7.53	5.36	3.81	2.79	2.26	1.75

2-3-3 定速時の排気

(1) 燃料消費

実験車（プリンス、1961年型車）について、車速を10～80Km/hの間で一定に維持した定速条件での正味燃料消費率 (g/ps・h) を各速度条件について表3-17に示す。第一速（10～20Km/h）では約155～197g/ps・hで、車速が20Km/hになると急増する。第二速（15～30Km/h）では約179～183g/ps・hで、車速による大差はな

表3-17 Cruise時の正味燃料消費率

実験条件	測定値	
トランスミッション	Km/h	g/ps・h
	実際の走行速度	正味燃料消費率
オ 1 速 (ローギヤー)	11.7	175.2
	14.9	154.7
	19.5	196.2
オ 2 速 (セカンドギヤー)	16.1	179.1
	19.9	180.3
	24.6	179.5
	29.3	183.2
オ 3 速 (サードギヤー)	20.5	248.6
	25.6	234.3
	30.7	215.9
	35.9	209.6
	41.0	193.6
オ 4 速 (トップギヤー)	29.9	287.9
	35.3	247.5
	40.7	232.6
	51.6	222.8
	59.7	233.5
	70.6	271.0
	81.2	246.9

い。第三速（20～40Km/h）では約194～249g/ps・hで、車速の増大につれて燃料消費率はやや減少を示す。第四速（30～80Km/h）では、車速が30Km/hで約288g/ps・hを示し、車速が50Km/hまでの間では223g/ps・hへと減少する。さらに車速が増大すると燃料消費率も大きく増加して、車速80Km/hでは約729g/ps・hを示す。第四速での正味燃料消費率からみて、本実験車（プリンス）の経済速度は50Km/hとみられる。

自動車の走行距離と単位燃料量の関係は次式¹³⁴⁾で示される。

$$a = \frac{V \cdot \rho}{be \cdot N_E} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (3-10)$$

ここに、a；燃料1ℓで走りえる距離 (Km) 、V；走行速度 (Km/h) 、ρ；燃料の比重 (g/cm³) 、N_E；機関の所要馬力 (PS) である。

また、N_Eはつぎのように表わされる。¹³⁴⁾

$$N_E = Le / \eta_t \quad \dots\dots\dots (3-11)$$

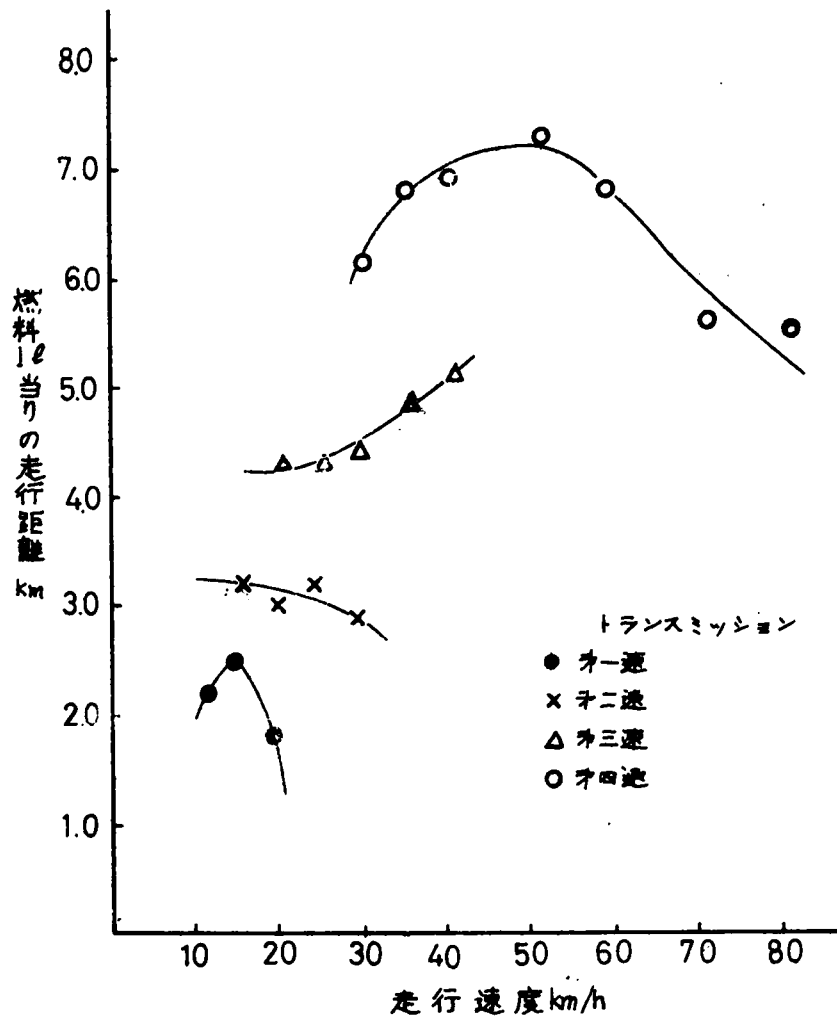
ここで、η_tは動力伝達効率で、一般にトランスミッションのトップギヤーでは90～95%、その他のギヤーでは80～90%であるとされている。¹³⁴⁾

これらのことから、式3-10、および式3-11から自動車が燃料1ℓの消費で走りうる距離、aKmはつぎのように表わすことができる。

$$a = \frac{V \cdot \rho \cdot \eta_t}{be \cdot Le} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (3-12)$$

本実験に用いた燃料の比重は $\rho=0.7548$ で、トップギヤー（第四速）の η_t を90%、その他のギヤーの η_t を80%と仮定し、各車速における燃料消費量から燃料1ℓあたりの走行距離を求め、実験車（プリンス）の定速時の車速ごとに示すと図3-24のとおりである。燃料あたりの距離は第一速（1.8～2.5Km/ℓ）がもっとも低く、第二速（2.9～3.2Km/ℓ）、第三速（4.3～5.1Km/ℓ）としだいに増大して第四速（5.5～7.3Km/ℓ）がもっとも大きい。第四速では、車速が

図3-24 燃料1ℓ当りの走行距離



30Km/h から50Km/h と増すにつれて、燃料あたりの走行距離数も6.1Km/ℓ から7.3Km/ℓ へと増大する。さらに車速が増すと距離数は大きく減少し、車速80Km/h では5.5Km/ℓ と燃料経済性が低下する。このような傾向からも本実験車の経済速度は50Km/h とみられる。定格時は最高で16Km/ℓ¹²⁷⁾とされているのにくらべると45.6%とほぼ半減しており、エンジンの推定出力が前述のように定格時の61.8%に低下していることから推察できる。

ここで、各速度条件における実際の走行速度 $V_{km/h}$ は、そのときに測定したエンジンの回転数から次式¹⁴⁶⁾によって算出した。

$$V = 0.377 \cdot \frac{r \cdot N}{i_m \cdot i_f} \quad \dots\dots\dots (3-13)$$

ここに、 r ；駆動輪有効半径、 N ；エンジンの回転数、 i_m ；変速比、 i_f ；終減速歯車比で、本実験車（プリンス）の値¹²⁴⁾は $r=0.32\text{ m}$ 、 i_m は第一速が4.18、第二速が2.87、第三速が1.59、第四速が1.00、 $i_f=4.444$ である。

(2) 吸入空気量、気液率

実験車（プリンス）の定速時の吸入空気量 (m^3/min)、燃料消費量から求めた容積効率 (%)、空気過剰率、ならびに気液率は表3-18に示す。表にはエンジンの回転数 (rpm)、マニホールドバキウム (cmHg) をも示す。吸入空気量は回転数や車速とともに増加し、アイドル時の同一回転数よりもやや大である。マニホールドバキウムは車速の増大につれて低下する。

定速時の容積効率はトランスミッションの位置でかなり異なり、第一速、および第二速では5.27～6.44%と低く、第三速では5.89～7.69%とやや増加する。第四速ではかなり高く、車速40～80Km/hでは8.00～8.83%と、一般の自動車の値¹⁴⁵⁾と大差はなく、混合気の供給ならびに燃焼状態がかなり良好とみられる。このような傾向は、表に示し

表3-18 定速時の車速、気液率、マニホールドバキウム

車速 Km/h	走行速度 km/h	エンジン 回転数 rpm	マニホールド バキウム (cmHg)	吸入空気量 m^3/min	容積効率 %	空気過剰率	気液率
第一速	117	1800	48-50	0.459	54.7	0.73	10.5
	149	2300	49-52	0.750	57.7	1.05	15.0
	195	3000	49-50	0.950	56.3	0.76	10.8
第二速	161	1700	46-48	0.519	64.4	0.87	12.3
	199	2100	46-52	0.657	55.5	0.85	12.1
	246	2600	47-48	0.781	53.3	0.85	12.2
第三速	293	3100	45-52	0.919	52.7	0.78	11.1
	205	1200	42-57	0.396	58.9	0.70	10.0
	256	1500	40-47	0.540	64.0	0.80	11.5
第四速	307	1800	30-48	0.689	67.8	0.90	12.8
	359	2100	43-47	0.840	70.8	0.94	13.5
	410	2400	38-43	1.045	76.9	1.10	15.8
アイドル	299	1100	33-45	0.396	64.1	0.68	9.7
	353	1300	38-50	0.534	75.5	0.90	12.8
	407	1500	35-42	0.776	81.7	1.10	15.7
アイドル	516	1400	30-38	0.950	88.3	1.13	16.1
	597	2200	30-40	1.306	80.0	1.16	16.6
	706	2600	25-40	1.515	84.4	0.67	14.4
アイドル	812	3100	20-40	1.760	82.3	0.92	13.1

た気液率からもみとめられ、第四速の40～80Km/hでの気液率は1.31～1.66で、理論気液率(1.48)に近い状態を示す。本測定では化器入口の空気清浄器(エアークリーナー)を取りはずしてあるために、実際にはクリーナーのろ紙の抵抗¹³⁷⁾で吸入量がやや低くなるから、第四速での気液率が理論比よりわずかに低く、エンジンの出力が最高効率に達している¹⁴⁶⁾と考えられる。空気過剰率も全く同様のことがみとめられ、実験車の定速での値は、一般にいわれている全負荷時の値(0.85～1.00)¹³⁴⁾に相当しており、燃料および空気の供給状態はかなり良好である。

(3) 排気温度、排気量

実験車（プリンス）の定速時の車速ならびに回転数の違いによる排気温度は図3-25のとおりである。図(A)にはアイドル時を示す。アイドル時の排気温度は定速時にくらべてかなり低く、いずれもエンジンの回転数の増大につれて上昇し、温度上昇の勾配は定速時が大である。図(B)には定速時のトランスミッションについて示した。同一速度でも第一速の排気温度がもっとも高く、第二速、第三速、第四速と順次に低下する。各トランスミッションとも、車速の増大につれて排気温度は直線的に上昇するが、それぞれの上昇勾配はかなり異なり、第一速での勾配がもっとも大きく、第四速での勾配がもっとも小さい。第四速では、車速30Km/hで90℃、60Km/hで180℃、80Km/hで291℃に達する。図には日暮¹⁴⁷⁾がニッサンブルーバード(第四速)について述べた値を示すが、本測定(プリンス)の値よりかなり大きい。しかし、測定位置の記載がないために厳密な比較はできない。

定速時の排出ガス量を標準状態(15℃, 1 atm)に換算して、回転数ならびに車速について図3-26に示す。図(A)には回転数についてアイドル時、および理論排気量も示した。定速時はアイドル時よりも同一の回転数での排出ガス量かなり大きく、回転数の増大による増加傾向はほぼ2倍を示すが、理論排気量には大きく及ばない。図(B)の車速の

図3-25 運転条件による排気温度

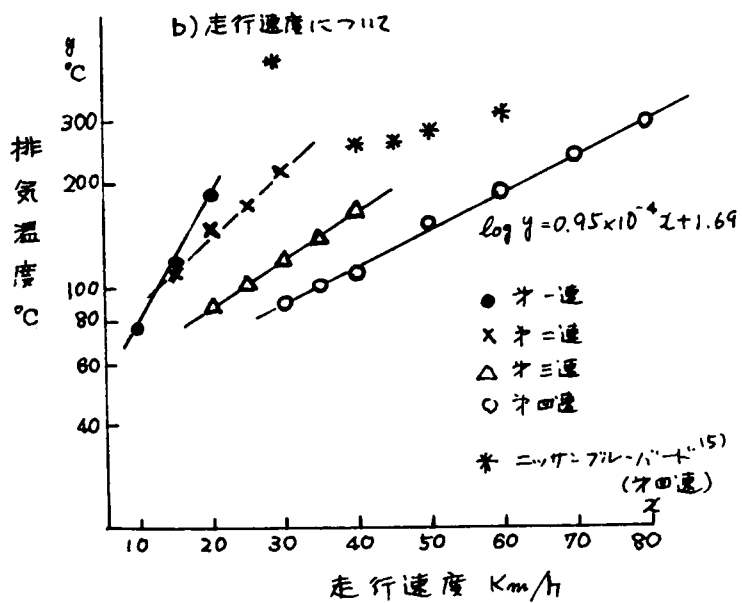
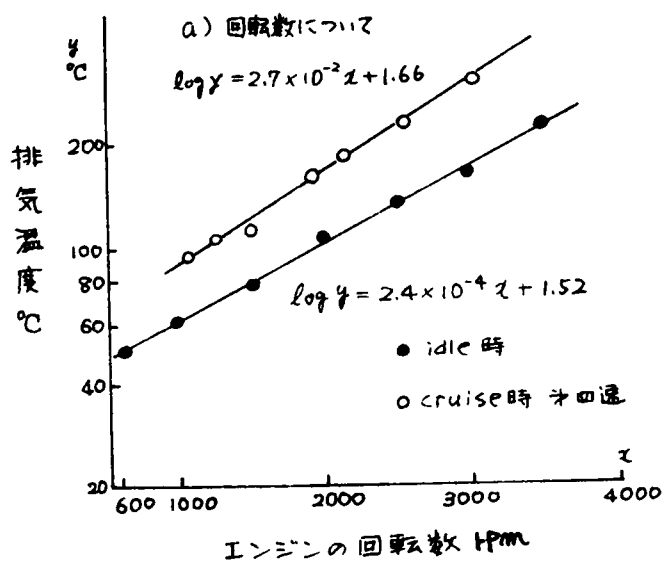


図3-26 運転条件と排気量 (15°C 換算)

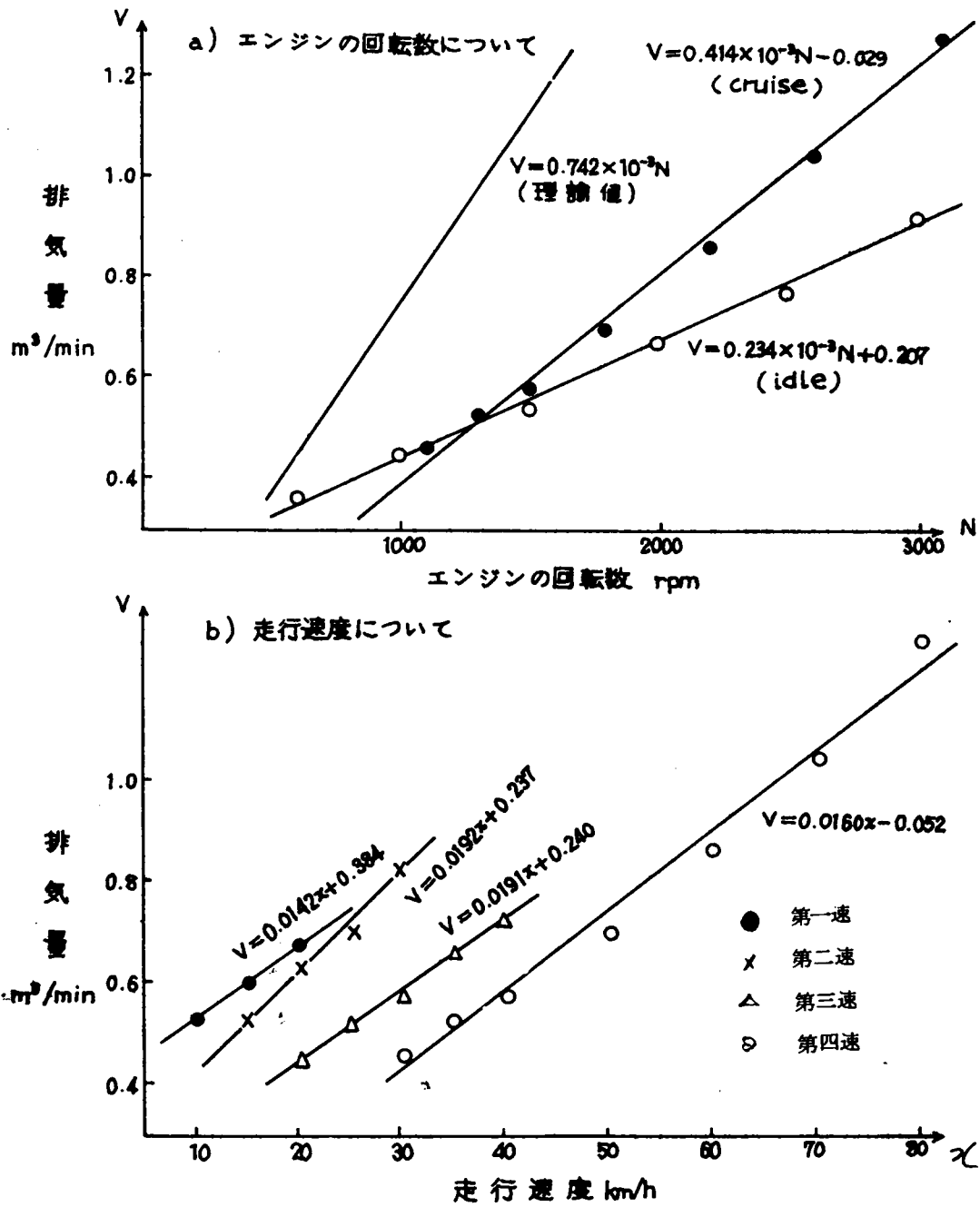
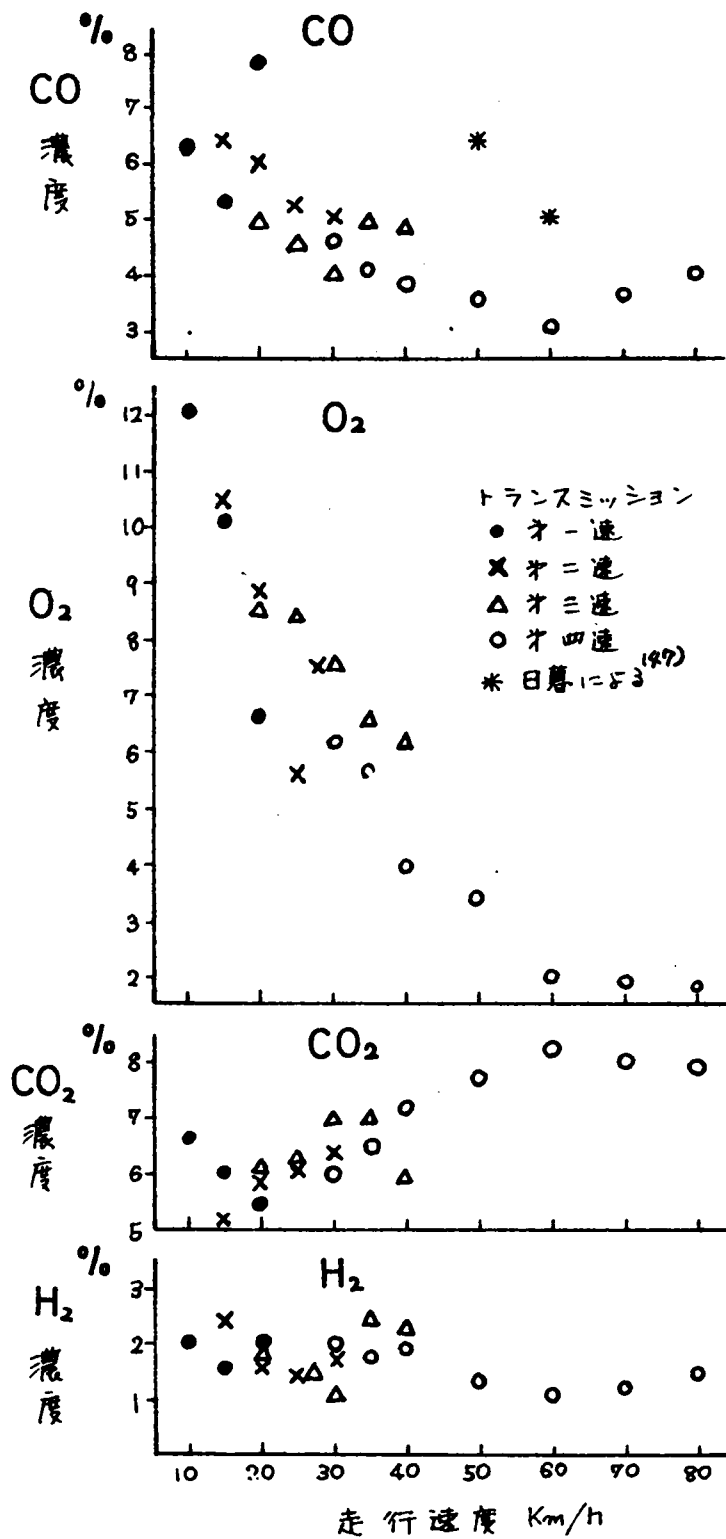


図3-27 走行速度と無機ガス成分



違いによる排出ガス量はトランスミッションでかなり異なり、車速による増加傾向は第二速がやや大きい、第一速、第三速および第四速はほぼ同様の勾配を示す。各トランスミッションとも車速にたいする排出ガス量の増加傾向はほぼ直線的で、それぞれの関係は図に回帰式で示す。

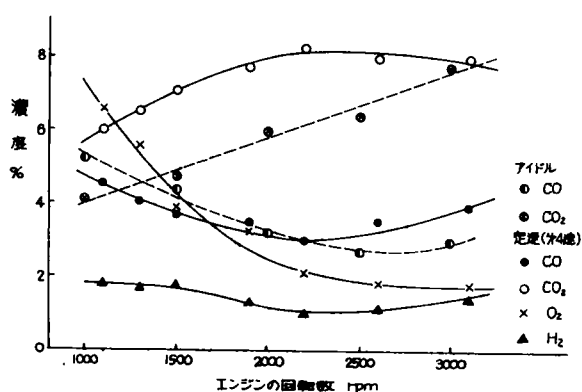
以上の測定結果から、エンジンに負荷がかかると排気温度、排気ガス量ともアイドル時（無負荷時）とは大きく異なり、いずれも高い値を示す¹⁷⁾ことがみとめられる。

(4) 無機ガス成分 (CO , CO_2 , H_2 , O_2)

実験車（プリンス）の定速時について、無機ガス成分の成績を車速について図3-27に示す。 H_2 濃度は1.0～2.4%で、アイドル時（1.1～2.0%）と大差はない。トランスミッションおよび車速による大きな変動はなく、第四速車速60 Km/hでもっとも低い値（1.0%）を示す。 CO_2 濃度は第一速、第二速および第三速では5.2～7.1%で大差はない。第四速（30～80 Km/h）では6.0～8.2%で、車速とともにやや増加し、車速50 Km/hで8.2%と最も高い。アイドル時の CO_2 濃度（3.9～9.0%）にくらべると、回転数が2,000～4,000 rpm（6.0～9.4%）をのぞいて、定速での濃度がかかなり大きく、定速時には混合気の燃焼状態がアイドル時よりも良好である。 O_2 濃度は第一速、第二速および第三速では5.5～12.0%と著しく高く、車速の増大につれて濃度は大巾に減少する。第四速では車速30 Km/hの6.6%から大巾に減少し、60～80 Km/hで1.8～2.1%ときわめて小さい。アイドル時（6.7～11.5%）とくらべて、第四速での O_2 濃度は非常に低く、吸入空気の利用度が大きく増進している。低速時に多量の O_2 が存在することは前述のとおり弁機構のタイミング不良¹⁴⁵⁾から、混合気の吸入と燃焼ガスの排出が不十分で、吸入気の稀釈などで燃焼効率がきわめて低いことを示す。 CO 濃度は第一速5.2～7.9%、第二速5.0～6.4%、第三速4.0～5.0%とかなり高い。第四速では3.1～4.6%と最も低く、30 Km/h（4.6%）から減少し、60 Km/hで3.1%と最も低い。さらに、車速が増すと CO 濃度もやや高くなり80 Km/hで4.0%を示す。定速時の CO 濃度をアイドル時（600 rpm; 6.5%）にくらべると、第四速の値はかなり低く、50～70 Km/hはアイドル時の約半で、この状態における混合気の燃焼効率がもっとも高い。Hurn⁵⁰⁾が40～60 mph 定速時（64.4～95.9 Km/h）の無機ガスは CO_2 12.2～14.1%、 CO 0.6～1.4%、 H_2 0.2～0.5%、 O_2 0.8～1.3%であると述べ、Heaton³⁸⁾は30 mph 定速（48.3 Km/h）で CO_2 13%、 O_2 0.65%、 CO 2.8%であると述べた。エンジン条件が明らかでないから直接比較できないが、本実験車（プリンス）は CO_2 がかかなり低く、 CO および H_2 がかかなり高い。また、 O_2 は異常に高くエンジン機構に何らかの損傷を生じている恐れが多分にある。さらに、図には日暮¹⁴⁷⁾がニッサンブルーバードの定速時として述べた CO 値を示すが本実験車にくらべて著しく大である。

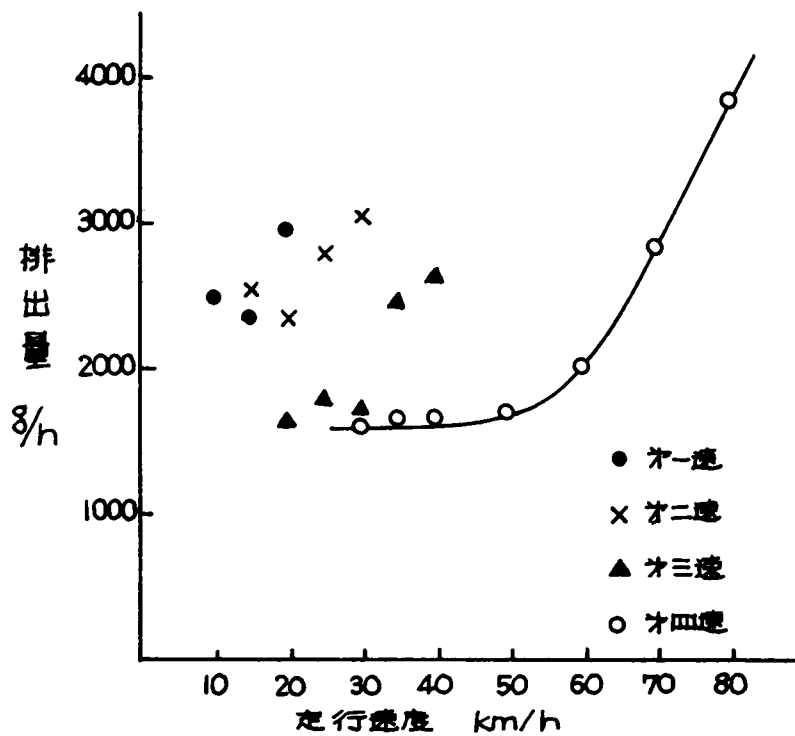
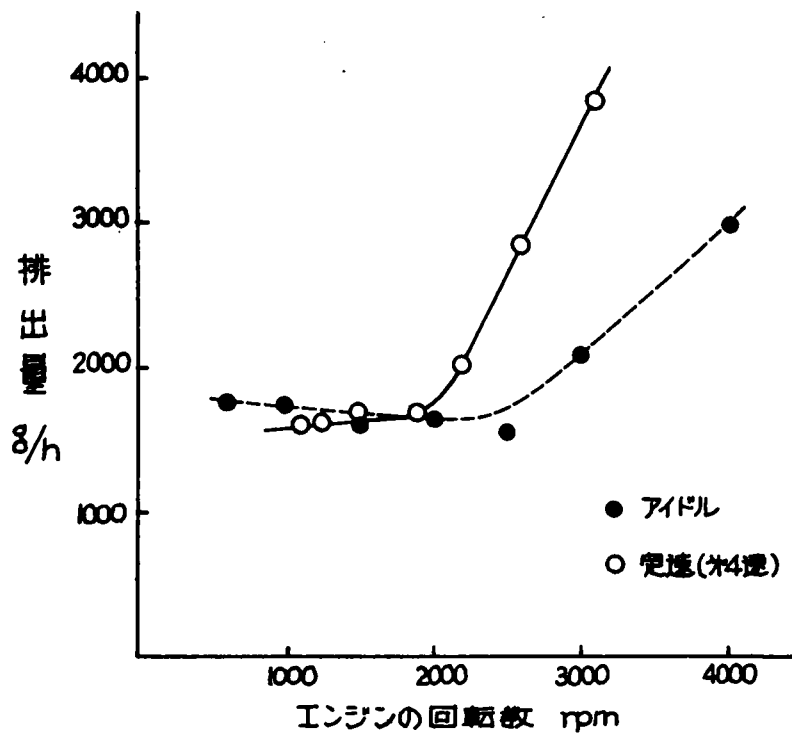
定速時第四速での無機ガスの濃度と回転数の関係は図3-28のとおりである。図にはアイドル時の CO と CO_2 濃度も

図3-28 エンジンの回転数と無機ガス成分
アイドルおよび定速時



示した。エンジンの回転数の増大につれて、 CO 、 CO_2 および H_2 はいずれも減少し、 CO_2 が増大する。 O_2 は回転数1,100～2,200 rpmで大きく減少し、 CO_2 は1,900～3,000 rpm（50～80 Km/h）では大差がなく、2,200 rpmで CO と H_2 はもっとも低い。アイドル時の CO は2,500 rpmで最低で、定速時と大差はない。しかし、回転数1,000～2,600 rpmではアイドル時の CO_2 が定速時よりかなり小さく、3,000 rpmではほぼ同程度で、その増加傾向もアイドル時と定速時とはやや異なる。すなわち、エンジンに負荷がかけられた場合には、同じ回転数でも排気組成が異なることを示す。

図3-29 COの時間当り排出量(定速時)



定速時の排出ガス量と、各成分濃度から求めた排出量 (g/h) をCOについて図3-29に示す。図(A)にはエンジンの回転数について第四速とアイドル時を示す。回転数1,100~2,000 rpm では、アイドル時よりも定速(第四速)での排出量がわずかに少なく、2,200 rpm 以上では定速時の値が著しく大きい。これらの差異はエンジンの負荷に原因する。¹³⁴⁾ 図(B)には定速時のトランスミッションについて示した。第一速(10~20 Km/h)約2,344~2,958 g/h(平均2,931.6 g/h)、第二速(15~30 Km/h)約2,530~3,090 g/h(平均2,715.4 g/h)と大差はない。第三速(20~30 Km/h)は約1,646~2,632 g/h(平均2,052.9 g/h)で、車速35~40 Km/h では排出量が急増する。このような傾向は第四速で顕著にみとめられる。車速30~80 Km/h では約1,598~3,855 g/h(平均2,380.8 g/h)で、車速30~40 Km/h の約1,600~1,650 g/h と大差はなく、車速が50 Km/h (約1,850 g/h) をこえると排出量は急増し、80 Km/h では3,855 g/h に達する。このような傾向は、アイドル時の回転数と排出量の関係と同様である。車速30~50 Km/h ではCO濃度が減少するが、排出ガス量が増加し、両効果が相殺し合う結果となってCOの排出量がほぼ同程度となる。しかし、車速が50 Km/h をこえるとCO濃度が増加するために排出量が急増を示す。

5) 炭化水素成分

実験車(プリンス)の定速(10~80 Km/h)時の炭化水素の成績は表3-19に示す。第四速で車速が30 Km/h では、

表3-19 定速時の炭化水素濃度 ppm

成分	第一速			第二速			第三速			第四速					
	10	15	20	20	25	30	20	30	40	30	40	50	60	70	80
methane	499.0	494.4	610.2	506.2	370.9	308.5	346.0	400.7	483.4	432.9	265.8	184.4	174.2	170.9	164.6
ethane	28.4	27.0	36.4	27.3	18.7	24.7	23.9	19.8	33.2	25.6	20.7	18.4	19.1	20.6	18.8
propane	20.8	18.8	21.3	19.8	14.5	17.6	17.6	14.6	16.2	11.8	8.4	12.1	9.9	9.7	8.0
i-butane	67.8	59.8	73.8	61.6	48.7	77.3	31.9	41.3	58.0	80.8	66.9	71.5	53.7	55.4	52.0
n-butane	396.8	343.8	443.0	394.7	243.7	315.6	332.6	241.5	245.9	215.3	123.9	126.5	106.3	96.4	100.3
2,2-di-Me propane	268.0	230.8	293.8	219.1	183.5	220.2	180.8	139.1	178.7	142.2	101.5	85.5	67.3	60.0	62.1
i-pentane	228.8	200.8	276.3	165.0	139.8	181.6	189.8	158.4	187.9	95.2	64.4	48.4	41.3	36.6	40.7
n-pentane	59.4	53.2	72.8	58.1	39.4	50.6	37.6	28.3	32.8	27.0	19.3	15.4	13.4	10.5	12.0
2,2-di-Me butane	159.2	151.8	189.7	176.8	139.3	187.4	95.0	79.2	90.6	02.8	47.7	44.4	37.8	33.3	30.5
2-Me pentane	181.8	171.4	218.0	191.1	116.5	184.4	180.8	171.0	194.8	153.8	74.3	61.6	46.1	40.0	56.4
3-Me pentane	148.0	139.8	156.0	132.7	89.1	129.9	89.3	78.4	92.8	109.6	120.1	86.2	45.9	41.8	43.1
n-hexane	249.8	257.6	169.2	265.7	163.7	206.4	193.8	139.1	192.5	182.7	109.7	73.9	56.3	51.3	54.9
ethylene	246.6	216.8	342.1	204.0	173.7	348.0	213.0	128.8	145.1	146.8	114.8	68.2	45.1	60.3	65.2
propylene	70.2	80.4	113.3	43.2	64.2	80.3	110.8	67.1	76.4	85.9	73.9	61.1	66.0	60.0	55.4
butene-1	11.5	9.4	8.3	10.0	6.1	8.9	8.2	6.3	6.8	4.8	4.0	3.4	1.8	1.6	1.6
i-butylene	20.6	11.6	12.8	12.8	8.2	11.3	8.6	8.3	6.8	4.1	2.0	1.0	1.0	0.8	0.9
cis-2-butene	8.8	8.0	10.4	8.1	6.0	8.9	6.7	4.7	6.8	3.9	1.8	0.8	0.8	0.5	0.5
trans-2-butene	7.9	8.0	10.5	7.7	6.1	8.9	7.0	4.4	6.6	4.4	2.4	2.0	2.0	1.6	1.9
acetylene	328.4	216.6	319.2	220.8	174.7	294.5	242.4	189.4	243.1	297.4	198.8	186.1	136.8	126.7	120.6
Meacetylene	4.4	4.0	6.2	3.6	2.0	4.7	4.9	3.6	4.4	3.6	2.1	1.2	1.0	0.8	0.9
propadiene	6.6	6.4	9.3	6.1	5.6	5.1	5.8	4.7	5.1	4.1	2.3	1.3	1.4	1.3	1.5
butadiene-1,3	16.4	12.2	12.2	11.4	8.3	8.9	8.3	6.5	7.1	4.8	3.2	2.2	2.0	1.9	2.2
pentadiene	21.5	20.6	23.1	23.4	16.0	18.8	19.0	14.3	17.4	3.0	3.2	2.2	2.0	1.9	2.2
合計	3027.7	2688.6	3419.1	2728.9	2071.8	2974.5	2316.7	1947.5	2319.5	2141.9	1402.4	1149.7	971.4	900.8	848.3

methane, acetylene が約300~430 ppm, n-butane, n-hexaneが約180~215 ppm, i-pentane, 2-Me-pentane, ethylene が約140~150 ppm, 2,2-di-Me-butane, 3-Me-pentane, i-butane, n-pentane, propylene が約80~110 ppm と比較的高い濃度で、その他の成分は約27 ppm 以下を示す。車速40~80 Km/h でもこれらの成分の濃度は比較的高い。Feinlandら⁴³⁾は40 mph 定速(67.6 Km/h)でmethane 450 ppm, ethaneとethylene 420 ppm, acetylene 300 ppm, n-butane 41 ppm, i-pentane 43 ppm が検出されたと述べており、エンジンについての記載がないために厳密な比較はできないが、本測定(プリンス)の60 Km/h および70 Km/h の値とくらべるとethane, ethylene, acetylene の濃度がかなり高く、n-butane, i-pentane がやや小さい。

各炭化水素の含量はトランスミッション、ならびに車速によってかなり異なる。全定速条件(10~80 Km/h)について平均するとmethane 約17%, n-butane, acetylene 約11~12%, i-pentane, n-hexane,

ethylene, 2-Me-pentane, n-pentane 約6~8%が比較的大きく、アイドル時にくらべるとmethane (17.4%)とn-pentane (6.7%)はほとんど同程度で、acetylene (7.6%)は定速時の含量がかなり大きく、propylene (6.1%)は定速時が4.1%とやや低い。()内はアイドル時の値で、これらのことから、アイドル時と定速時の排気の炭化水素構成がかなり大きく異なることがみとめられる。

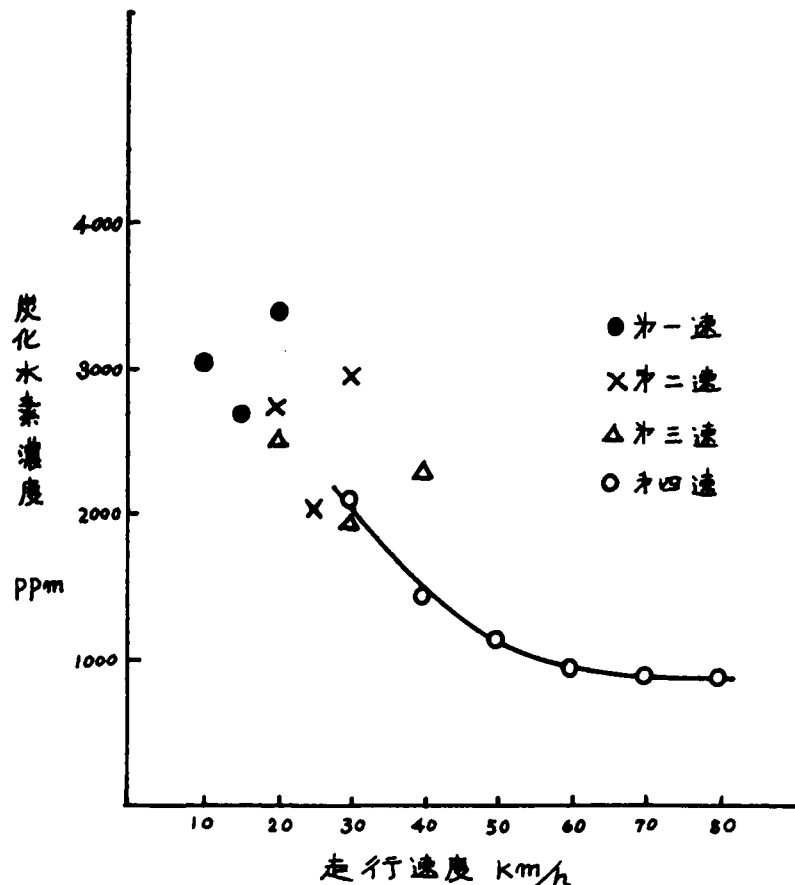
検出成分を $C_1 \sim C_4$ と $C_5 \sim C_8$ パラフィン、オレフィン、ジオレフィン、アセチレンに分類すると、表3-20のとおりである。第一速、第二速および第三速では各車速とも $C_5 \sim C_8$ パラフィンの濃度をもっとも大きく、 $C_1 \sim C_4$ パラフィン濃度がわずかに低い。ついでオレフィンが大きく、アセチレンはやや小さく、ジオレフィン濃度をもっとも低い。第四速、車速

表3-20 定速時の炭化水素の分類 ppm

車速 Km/h	第一速			第二速			第三速			第四速							
車速 Km/h	10	15	20	20	25	30	20	30	40	30	40	50	60	70	80		
$C_1 \sim C_4$ paraffin	1012.8	903.8	1192.4	987.6	919.5	1031.4	920.0	917.9	826.7	766.4	695.7	414.7	365.2	350.9	343.7		
$C_5 \sim C_8$ paraffin	1295.0	1265.4	1373.8	1207.7	873.3	1157.5	967.1	825.5	969.8	813.5	559.1	419.4	327.1	293.4	300.2		
olefin	345.6	336.2	407.4	285.8	266.3	466.5	353.3	216.8	258.1	248.9	200.1	136.5	136.7	124.8	125.0		
acetylene	342.8	220.4	324.4	224.4	196.7	299.2	269.3	192.0	207.5	301.2	201.0	187.3	137.8	127.5	121.4		
diolefin	31.5	26.6	33.1	23.4	16.0	19.9	19.0	14.3	17.4	11.9	7.5	5.8	4.6	4.2	4.9		
合 計	2627.7	2489.6	3469.1	2772.9	2071.5	2976.6	2316.7	1907.5	2099.5	2161.9	1463.4	1113.7	971.4	900.8	895.2		

30~50Km/hでは $C_5 \sim C_8$ パラフィン値が $C_1 \sim C_4$ パラフィンよりも大きい。60~80Km/hでは逆転する。第四速でのアセチレンとオレフィンには大差がない。また、第四速では車速の増大につれて炭化水素合計が減少し、経済速度とみられる50Km/hでは、約1,160ppmと、30Km/hの54.3%に減少する。炭化水素合計を速度条件について示すと図3-30のとおりで、車速の増加により炭化水素が大幅に減少する。とくに、第四速では車速30Km/hから50Km/h

図3-30 定速時の車速と炭化水素濃度合計



での減少傾向が著しく、車速60～80Km/hでの値には大差がない。

Rose⁵⁰⁾はガソリン車の定速時の炭化水素値として、30mph 定速(50.8Km/h)で3,000～7,500 ppm(平均5,250 ppm)、40mph 定速(67.7Km/h)で1,300～5,600 ppm(平均3,450 ppm)、50mph 定速(84.7Km/h)で2,600～7,800 ppm(平均5,200 ppm)であると述べており、エンジンについての記載がないため厳密な比較はできないが、本実験車(プリンス)はこれにくらべてかなり小さい。しかし、米国でふつうに乗用車とされているものは6～8気筒で、気筒容積が3,500～6,000cc⁵⁸⁾と、わが国の大型車(2,000～3,000cc)よりも著しく大きく、排気成分の排出傾向も大きく異なる。²²⁾また、本測定は炭化水素のなかでもC₁～C₆成分についての値で、米国での報告はNDIRによるn-hexane 値の場合が多く、厳密には比較できない。⁵⁾Feinlandら⁴³⁾はGLCにより40mph 定速(64.4Km/h)時に合計1,401.6 ppmのC₁～C₆炭化水素成分を検出した。本実験車(プリンス)での60Km/h および70Km/hでの値はこれにくらべてわずかに低い。Heatonら³⁸⁾も30mph 定速(48.3Km/h)時に919 ppm(C₁～C₇炭化水素)を検出しており、本実験車の値はやや高い。

本研究では、実験車を平坦な道路上で一定車速で走行させて定速条件としたが、速度の制御をアクセルペダルの踏み込みで行なったこと、および速度計には10～80Km/hの速度範囲で±1.5～+4.5%の誤差が許容されている¹⁴⁰⁾ことから、排気の採取時に車速を正確に再現させることが困難であった。このため同一速度条件の分析成績には若干の変動がみられた。各成分の測定値からそれぞれの95%信頼限界値を求め、第一速(20Km/h)、第二速(20Km/h)、第三速(30Km/h)ならびに第四速(30Km/h)について示すと表3-21のとおりである。すなわち、各成分区とも試料排気の採取時のわずかな速度変化がかなり大きく影響を示しており、95%信頼限界値中はC₁～C₄、C₅～C₆パラフィンでは約420～760 ppm、オレフィン、アセチレンでは約110～330 ppm、ジオレフィンでは約4～16 ppmとなる。このことは個々の成分についての平均値にたいする変動巾であらわすと46.3～59.2%となる。

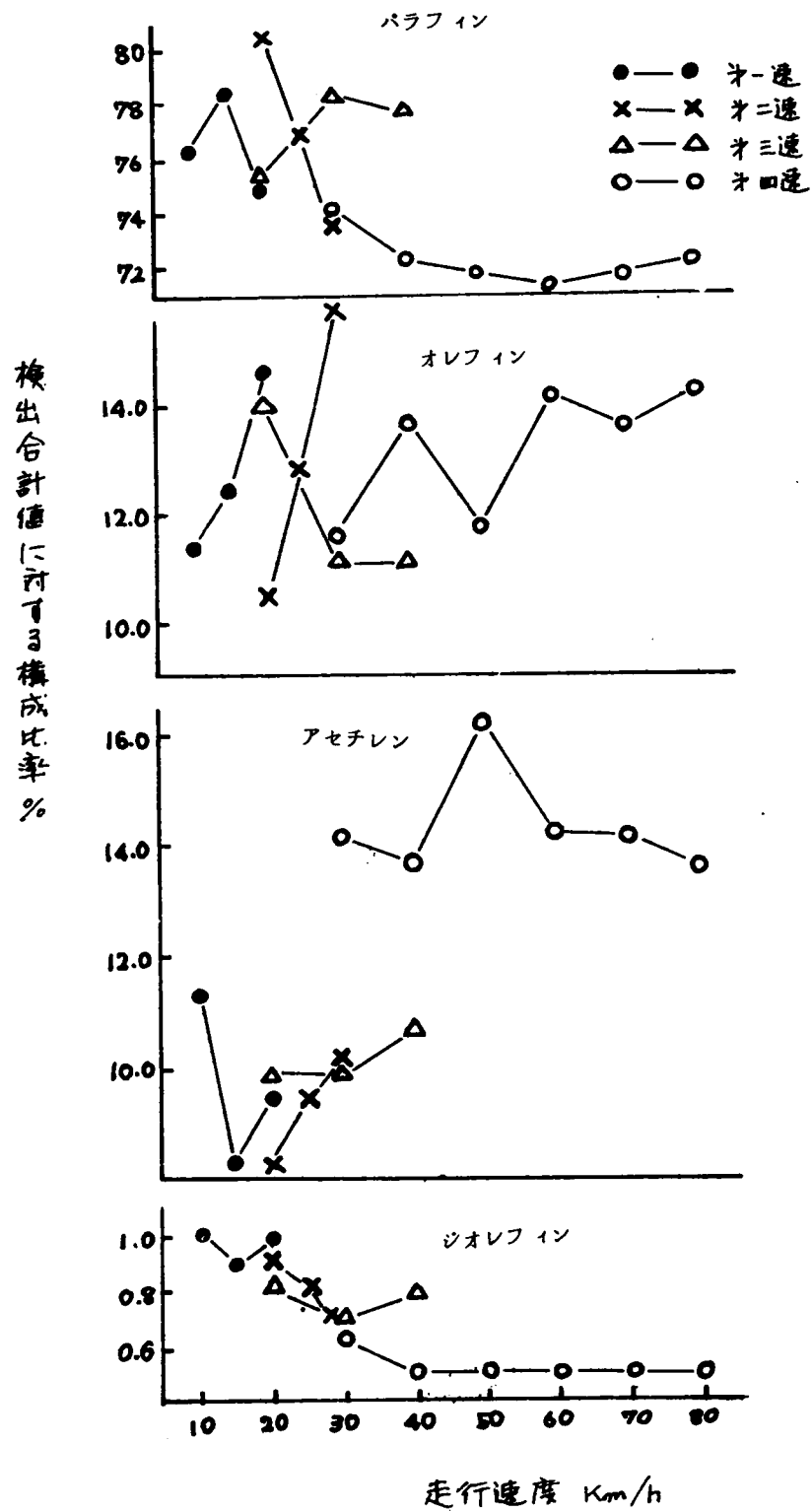
各成分の測定値からC₁～C₂、C₃～C₄およびC₅～C₆パラフィン、オレフィン、ジオレフィン、アセチレンに分類し

表3-21 測定値の信頼限界値

成分区	車速			
	第一速 20km/h, n=6	第二速 20km/h, n=6	第三速 30km/h, n=6	第四速 30km/h, n=6
C ₁ ～C ₆ paraffin	1190.4 ± 522.8	987.6 ± 656.9	717.7 ± 464.9	556.4 ± 340.7
C ₃ ～C ₆ paraffin	1379.8 ± 791.3	1207.6 ± 561.6	876.5 ± 580.7	813.5 ± 433.2
olefin	497.4 ± 330.6	285.8 ± 211.9	216.8 ± 150.1	228.9 ± 112.1
acetylene	324.4 ± 188.2	224.4 ± 131.7	190.3 ± 117.8	301.2 ± 180.4
diolefin	33.1 ± 15.9	23.4 ± 12.5	14.3 ± 6.4	11.9 ± 3.2

て、炭化水素の構成比率を求めた。第一速と第二速のC₁～C₂パラフィンは18.1～18.8%で、アイドル時(18.7%)とはほぼ同程度である。第三速と第四速では20.1～21.5%で、アイドル時よりやや大きい。C₃～C₆パラフィンの比率は15.9～16.7%とトランスミッションによる大差はなく、アイドル時(19.2%)よりやや低い。第一速と第三速のC₅～C₆パラフィンは40.5～42.6%で、第二速と第四速の値(31.8～35.3%)よりもかなり大きい。アイドル時では22.1%と著しく低い。定速でのオレフィンの比率はトランスミッションによる大差がなく12.1～13.2%で、アイドル時(23.1%)とは大きく異なる。アセチレンの比率は第一速、第二速および第三速は9.3～10.2%と大差なく、第四速では14.3%とかなりの増大を示すが、アイドル時は15.0%でさらに大きい。ジオレフィンの比率は第一速(1.0%)がもっとも大きく、第二速、第三速と順次に減少して第四速では0.5%と半減し、アイドル時(1.9%)よりかなり小さい。

図3-31 走行速度による構成比率の変化



これらのことから、定速時の排気組成がトランスミッションの位置および車速によってかなり異なること、および定速時のオレフィンの構成比がアイドル時とは大きく異なるが、運転条件による変化が他の成分にくらべてもっとも小さいことがみとめられる。このことはエンジンの負荷によって混合気の吸入量が異なり、燃焼状態も大きく異なる¹³⁴⁾ ことによる。同様の傾向は車速と構成比の変化をパラフィン、オレフィン、アセチレン、ジオレフィンについて示した図3-31において顕著にみとめられる。

定速時の排出ガス量、および各成分の濃度から炭化水素の排出重量 ($C_1 \sim C_6$ 成分) (g/h) を求めた。それらのなかから、第一速では10 Km/h、第二速では20 Km/h、第三速では20 Km/h、第四速では30~80 Km/h について表3-22に示す。表では $C_1 \sim C_4$ 、 $C_5 \sim C_6$ パラフィン、アセチレン、ジオレフィンに分類してそれぞれの排出量をも示した。

表3-22 定速時における炭化水素の排出重量 (g/h) ならびに
供給燃料にたいする比率

成分	第一速		第二速	第三速	第四速						idle 600 rpm
	10	20			30	40	50	60	70	80	
$C_1 \sim C_4$ paraffin	47.9	54.5	35.4	29.2	24.3	27.1	28.1	32.6	39.4	64.3	64.3
$C_5 \sim C_6$ paraffin	136.1	152.8	86.7	76.7	65.9	59.7	57.2	62.0	79.0	79.0	77.5
olefin	16.2	15.2	13.8	10.0	10.1	8.6	10.6	11.7	14.1	14.1	41.4
acetylene	11.8	9.2	7.3	9.1	7.6	8.6	8.6	7.8	10.1	10.1	4.3
diolefin	2.0	1.8	1.0	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	1.85
合計	214.0	233.5	144.2	125.6	108.4	104.5	104.2	115.5	142.0	205.9	205.9
供給燃料重量	3381.4	4215.9	3057.6	3166.9	3814.6	4567.4	6340.0	8130.0	10391.5	1515.6	1515.6
比率 %	6.33	5.44	4.72	3.97	2.84	2.29	1.71	1.42	1.37	13.24	13.24

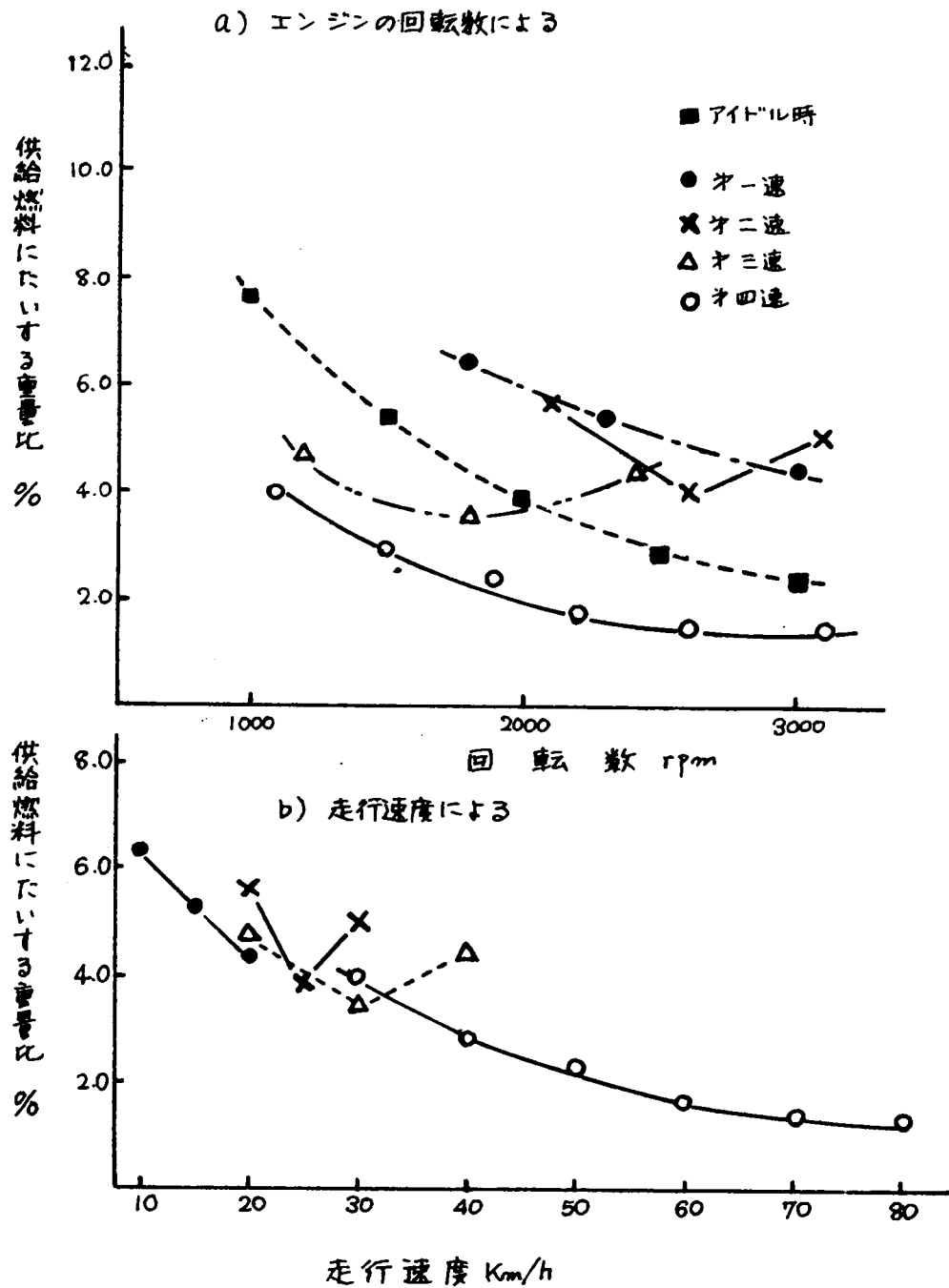
表にはアイドル時 (600 rpm) についても示し、供給燃料にたいする排出炭化水素の重量比をも示した。炭化水素の排出量は第一速 (10~20 Km/h) 約214~297 g/h (平均244.0 g/h) で車速とともに増大し、第二速 (20~30 Km/h) 約193~317 g/h (平均281.1 g/h) で、車速25 Km/h がもっとも少ない。第三速 (20~40 Km/h) 約144~181.2 g/h (平均157.2 g/h) で、車速40 Km/h で大きく増加する。第四速 (30~80 Km/h) では他にくらべて排出重量がかなり少なく、30 Km/h (125.6 g/h) から車速の増大につれて減少し、車速60 Km/h でもっとも小さい (104.2 g/h)。

排出重量の合計にたいして、 $C_1 \sim C_4$ パラフィンが占める割合 (重量) はアイドル時 (600 rpm; 3.12%) より定速時が2.14~2.77%とやや低い。燃料成分である $C_5 \sim C_6$ パラフィンの割合はアイドル時 (37.6%) より定速時が53.7~66.2%と非常に大きく、燃料の未燃焼分が炭化水素の過半を占める。また、燃料の解裂分であるオレフィンの重量割合はアイドル時 (20.1%) よりも定速時が6.5~10.2%と非常に小さく、アセチレンはアイドル時 (2.1%) よりもかなり大きい (3.9~8.3%)。とくに第四速ではアセチレンの重量割合が大きい。ジオレフィンの重量割合はアイドル時 (9.0%) よりも定速時が0.4~0.9%と著しく小さい。

これらのことからアイドル時の排気と比較して、定速時の排気は燃料の解裂成分であるオレフィン、アセチレン、ジオレフィンの含有比がかなり低く、燃料の未燃分とみられる $C_5 \sim C_6$ パラフィンが過半を占めることがめだつた相異点とみとめられる。

Hexton³⁸⁾ は30 mph 定速 (50.8 Km/h) における未燃焼炭化水素の排出量は供給燃料にたいして1.33 wt% であると述べた。本測定 (プリンス) での排出量比は第一速 (10~20 Km/h) で4.37~6.33% (wt) (平均5.48 wt%)、第二速 (20~30 Km/h) で4.20~5.93% (wt) (平均5.04 wt%)、第三速 (20~40 Km/h) で3.55~4.72% (wt) (平均3.93 wt%) とやや大きい。第四速では30 Km/h での3.97 wt% から車速の増大につれて減少し、車速80 Km/h では1.37 wt% を示す。アイドル時 (600 rpm; 13.24 wt%) にくらべると第四速での排出重量比は著しく低い。定速時のエンジンの回転数と車速について炭化水素の排出重量比を図3-32に示す。図にはアイド

図3-32 供給燃料にたいする排出炭化水素の重量比%



ル時についても示す。アイドル時の排出重量比にくらべて定速時の第一速と第二速はやや大きく、第三速と第四速はかなり低い。このようなことから、エンジンの負荷状態によって吸入された燃料の燃焼効率はかなり異なることがみとめられる。図(B)の車速と排出重量比の関係においては、第二速および第三速でやや異なった傾向がみられるが、定速全体(10~80Km/h)では車速の増大につれて排出重量比が減少する傾向がみとめられる。

2-3-4 加速時の排気

(1) 所要時間・加速度

実験車(プリンス)を平坦な舗装道路上で定速走行させ、スロットルを全開として加速した場合について測定した。速度条件はトランスミッションの位置によって、初期速度0~50Km/hから終末速度10~60Km/hについて10Km/h巾と20Km/h巾の加速に規定した。また、加速は所定の定速で走行中にアクセルペダルをいっばいに踏込んだ状態(スロットルバルブを全開)で行なった。

各加速条件の所要時間には若干の変動がみられ、表3-23に所要時間の範囲、ならびに平均値を示す。表には加速の開

表3-23 加速時の所要時間、マニホールドバキウム

トランス ミッション	速度条件 Km/h	所要時間 秒			マニホールドバキウム cmHg		エンジン回転数 rpm		実速度 Km/h		加速度 Km/h/sec
		最大	最小	平均	最初	終末	最初	終末	最初	終末	
第一速	0→10	4.5	1.6	2.43	52	5	600	1500	0	9.7	3.96
第二速	10→20	4.1	2.3	3.09	50	3	1100	2200	10.4	20.8	3.37
第三速	20→30	4.9	3.3	4.06	45	3	1200	1800	20.5	30.8	2.54
第四速	30→40	7.5	5.7	6.60	38	2	1100	1500	29.9	40.8	1.65
	40→50	10.4	5.8	7.70	34	3	1500	1900	40.8	51.6	1.40
	50→60	10.4	7.2	9.24	32	3	1900	2300	51.6	62.5	1.17
第一速	0→20	3.5	3.1	3.28	52	5	600	3100	0	20.1	6.13
第二速	10→30	4.2	4.1	4.16	48	3	1100	3200	10.4	30.4	4.81
第三速	20→40	8.7	6.3	7.50	45	3	1200	2400	20.5	41.0	2.73
第四速	30→50	15.6	12.9	14.10	35	3	1100	1900	29.9	51.6	1.54
第五速	0→40	6.3	3.8	4.92	—	—	600	3000	0	40.8	8.13

始時と終末時の回転数(rpm)、マニホールドバキウム(cmHg)をも示し、前述の式3-13で算出した実験時の実速度、ならびに平均所要時間から求めた加速度(Km/h/sec)をも示す。10Km/h巾および20Km/h巾の加速条件では、初期速度(定速の速度)が増大するにつれて加速所要時間が増加するが、それぞれの加速度は反対の傾向を示す。加速条件と平均所要時間および加速度の関係は図3-33のとおりである。第四速で10Km/h巾の加速条件では、所要時間が初期速度の増大につれてほぼ直線的に増大する。20Km/h巾の加速条件では初期速度が増すにつれて所要時間の増加が非常に大きい。

加速時にアクセルペダルをいっばいに踏込んだ状態ではスロットルバルブが全開状態であり、加速終末でのマニホールドバキウムは表3-23に示したように、2~5cmHgと低く、多量の混合気が吸入された状態を示す。加速初期のマニホールドバキウムは定速時の値と同じで、車速の大きい定速からの加速では終末におけるマニホールドバキウム値にほとんど差がない。

(2) 燃料消費、気液率、排気量および排気温度

実験車(プリンス)の加速条件における燃料消費率(g/ps·h)、燃料量と吸入空気量から求めた気液率、排気口における排気ガスの流速(l/min)、排気温度(℃)は表3-24に示す。表には各速度条件における平均所要時間から求めた排気ガス容量(l)をも示す。加速時の燃料消費率はアイドル時(600rpm; 293.5 g/ps·h)、および定速時

図3-33 加速条件と平均所要時間の関係

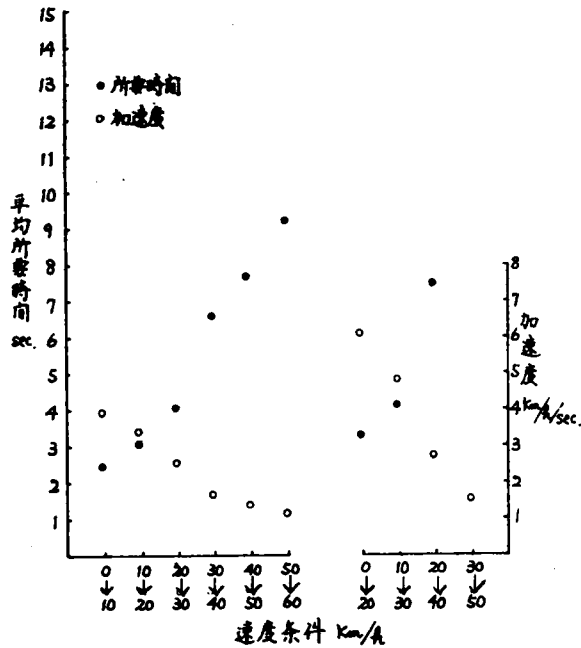


表3-24 加速時の燃料消費率, 排気量

トランスミッション	速度条件 km/h	燃料消費率 g/ps·h	気液率	排気速度 m/min	排気量 ℓ	排気温度℃	
						最初	終末
カ一速	0→10	623.9	9.1	0.510	20.6	44	142
ニ	10→20	478.3	9.9	0.573	29.5	130	158
三	20→30	612.2	8.4	0.475	45.7	160	190
四	30→40	531.4	9.3	0.707	77.8	180	200
	40→50	446.6	9.7	0.979	93.6	196	240
	50→60	371.8	11.9	0.844	129.9	232	252
カ一速	0→20	332.4	12.5	0.629	34.4	31	148
ニ	10→30	300.7	12.8	0.806	65.7	126	184
三	20→40	329.1	13.2	0.956	94.5	155	205
四	30→50	379.1	13.1	0.677	159.0	170	220

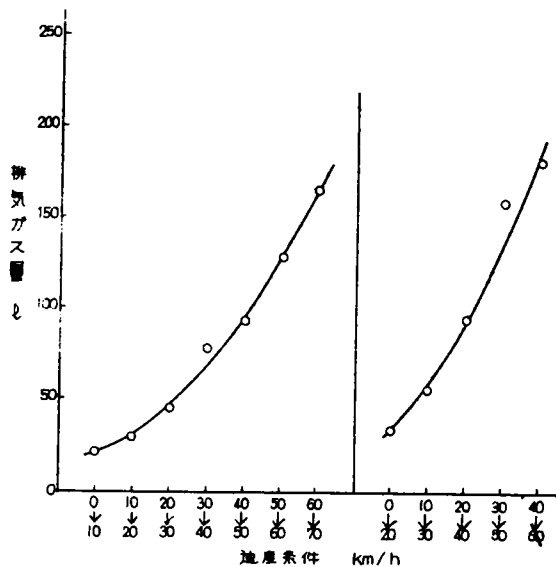
(10~80 Km/h; 175.2~296.9 g/ps·h)に比べて非常に大きく、トランスミッションの位置および加速条件によっても大きく異なる。第四速で10 Km/h 巾の加速では、初期速度が増大するにつれて燃料消費率が減少する傾向を示す。20 Km/h 巾の加速では第一速、第二速および第三速について大差はなく、第四速で30 Km/h から50 Km/h への加速時がやや大である。10 Km/h 巾加速での気液率は8.4~11.9で、20 Km/h 巾の加速条件では12.5~13.2とやや大である。アイドル時(600 rpm; 7.9)にくらべると加速時の気液率はかなり高く、定速時(10~80 Km/h; 9.7~16.6)に近い。Faith¹⁶⁾が加速時の気液比は1.1~1.3.1であると述べているのと大差はない。また、エンジンの出力は気液率が理論混合比よりやや濃厚燃料側でもっとも大きい¹³⁴⁾から、20 Km/h 巾の加速時には最大出力に近い状態がえられているものとみられる。

加速時の平均所要時間と平均排出速度から求めた平均排気ガス量(ℓ)を速度条件について図3-34に示す。排気速度は表3-24に示したように、加速の初期速度とともに増大し、トランスミッションについては大差がない。また、加速所要時間も初期速度とともに増大するから、各加速期間中に排出される排出ガス量は初期速度が大きくなるにつれて著しく大となる。さらに、加速時の排気速度はアイドル時の2,500 rpm (0.520 m³/min) よりもやや大きく、加速の終末速度が同じ定速時の値にくらべてもかなり大である。

加速時の排気温度も表3-33に示したように終末速度が同じ定速時の排気温度よりもやや高く、短時間に急速にエンジンの回転数が上昇するためにサイクルピーク温度が高くなって温度も急上昇する。

(5) 無機ガス成分(CO₂, CO, H₂, O₂)

図3-34 加速条件と排気ガス量の関係



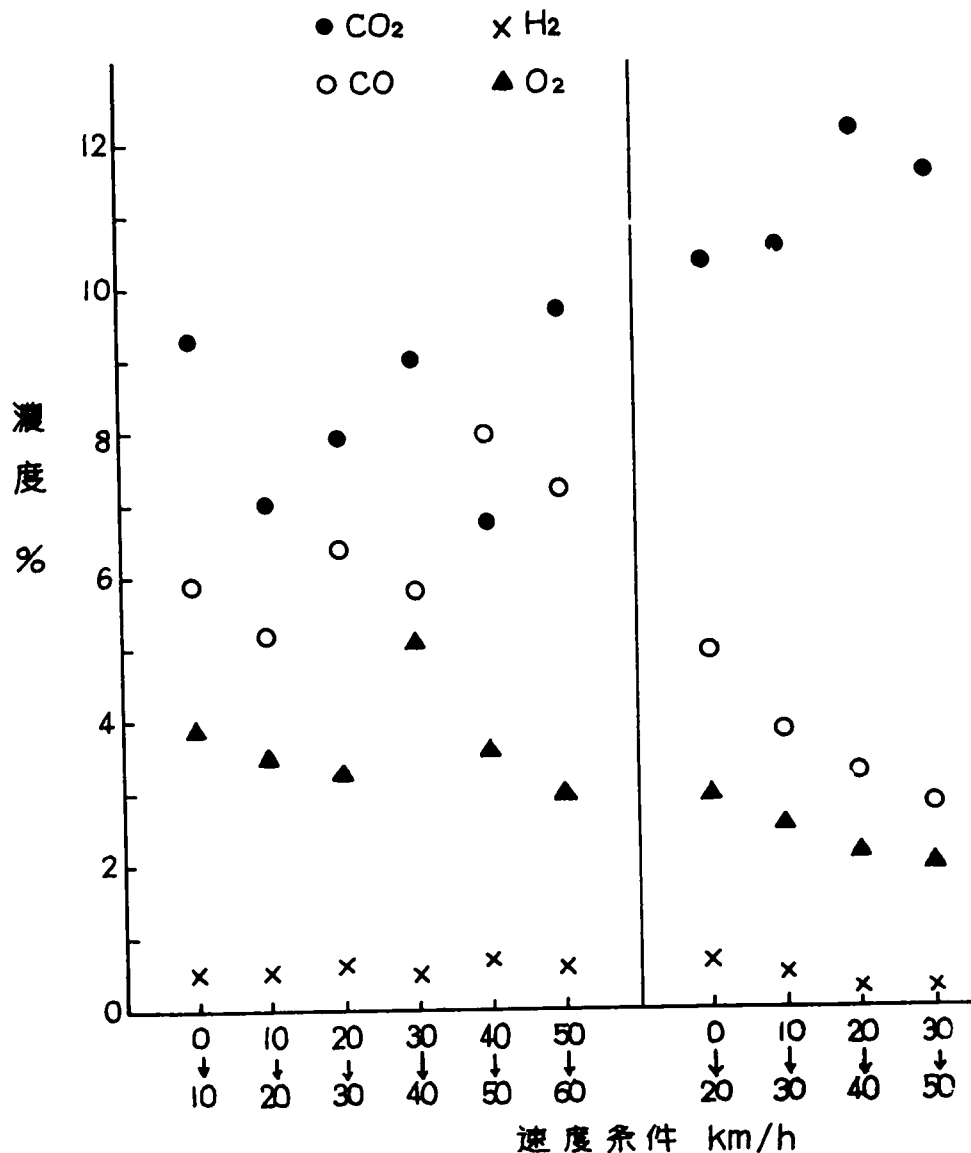
加速時のCO、CO₂、O₂ およびH₂ 濃度を速度条件について図3-35に示す。10 Km/h 中の加速ではCO₂ が6.7～9.7%、COが5.2～8.0%、H₂ が0.5～0.7%、O₂ が3.0～5.1%を示し、トランスミッションの位置で若干異なる。加速の初期速度が増すにつれてO₂ が減少し、CO₂ が増加して吸入空気の利用度と燃焼効率の向上がうかがわれるが、COについては顕著な傾向がなく、H₂ は加速条件による大きな変動がない。20 Km/h 中の加速ではCO₂ が11.2～12.2%と、10 Km/h 中の加速よりやや大きく、初期速度の増大につれて高くなる。20 Km/h 中の加速時のCOは2.9～5.0%、H₂ は0.3～0.7%、O₂ は2.0～3.0%で、いずれもトランスミッションの位置に関係なく初期速度の増大につれて減少する。アイドル時(600 rpm; CO 6.5%、CO₂ 3.9%、H₂ 2.0%、O₂ 11.5%)にくらべると、加速時はO₂ が著しく低く、CO₂ がかなり大である。また、定速時(10～80 Km/h)にくらべるとCO₂ がやや大で、O₂ が非常に小さく、COは大差がない。このようなことから、加速時には供給された混合気の燃焼効率がかなり向上して、エンジンの出力を増大させているが、スロットルを急開するために混合気の吸入量が急増し、所要出力にたいして過剰気味となるために多量の不完全燃焼成分が排出させる。Rose⁵⁰⁾ は0から40 mph への加速(0から96.5 Km/h)、0から50 mph(0から80.5 Km/h)、20 mph から45 mph(32.2 Km/h から72.4 Km/h)、15 mph から30 mph(24.1から48.3 Km/h)の各加速条件におけるCO濃度は3.09～5.76%であると述べており、本測定(プリンス)と大差はないが、エンジン条件などの記載がないために厳密には比較できない。

加速時のCOおよびCO₂ 濃度と排出ガス量から求めた加速期間中の排出重量(g)は図3-36に示す。10 Km/h 中および20 Km/h 中の加速条件のいずれのもの、COの排出量はトランスミッションの位置に関係なく初期速度の増加につれて大きく増加する。10 Km/h 中の加速では1.5 g(0→10 Km/h)から1.7 g(50→60 Km/h)に増大し、20 Km/h 中の加速では1.6 g(0→20 Km/h)から5.8 g(30→50 Km/h)に増加する。CO₂ の排出量は初期速度が増大するにつれて著しく増加し、その増加傾向はCO量よりはるかに大きく、初期速度の大きい加速時の燃焼状態が低速度での加速時よりも良好であることを示す。

(4) 炭化水素成分

加速時の炭化水素成績は表3-25に示す。表にはトランスミッションの位置、および0から40 Km/h への加速条件についても示す。炭化水素はアイドルおよび定速時と同様の成分が検出されたが、個々の濃度はそれらとかなり異なる。本測定の加速条件では約1,830～5,240 ppmの炭化水素が検出され、10 Km/h 中および20 Km/h 中の加速条件のい

図3-35 加速条件と無機ガス成分濃度



れも加速の初期速度が増大するにつれて炭化水素濃度が減少する傾向を示した。すなわち、自動車の停止状態からの加速条件、いわゆる、発進加速時に炭化水素濃度がもっとも高い値を示す。加速時の炭化水素をアイドル時（600 rpm, 5.07 6.2 ppm）とくらべると、0 km/h から 10 km/h への加速時の値がかなり高く、その他の加速条件ではいずれもアイドル時より低い。また、加速の終末速度が同じ定速時にくらべると、各加速条件ともかなり高い濃度を示し、加速時にはスロットルバルブが急全開となるために混合気が過剰ぎみに吸入され、未燃焼成分の排出がかなり多くなると考えられる。Rose⁵⁰⁾は加速時（0 から 50、60 mph, 20 mph から 45 mph, 15 mph から 30 mph）の炭化水素濃度は 1,400~7,300 ppm（平均 5,230 ppm）であると述べており、エンジンについての記載がないことおよび加速条件が同一でないから厳密には比較できないが、本測定（プリンス）での値はほぼ同程度である。加速時の検出成分のなかでは methane, n-butane, ethylene, acetylene（約 260~860 ppm）, i-butane, i-pentane, n-pentane, n-hexane, propylene（約 80~350 ppm）, 2,3-di-Me-butane, 2,2-di-Me-

図3-36 加速条件とCOおよびCO₂の排出重量

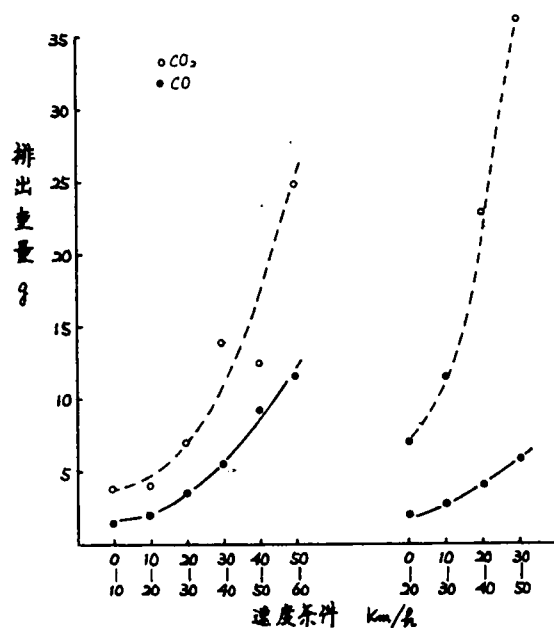


表3-25 加速時の排気中の炭化水素濃度, ppm,

条件 試料	オ一速	オ一速	オ二速	オ二速	オ二速	オ三速	オ三速	オ四速	オ四速	オ四速	オ四速
	0-10	0-20	10-20	10-30	0-40	20-30	20-40	30-40	40-50	50-60	30-50
methane	858.7	725.8	602.7	748.8	507.7	548.4	524.3	490.2	335.0	242.7	383.7
ethane	66.3	49.9	26.8	39.6	28.1	29.4	43.6	33.8	52.8	24.3	49.5
propane	50.2	46.0	16.4	33.0	38.1	20.6	19.4	13.1	9.5	8.8	13.0
i-butane	336.7	298.8	240.6	186.3	145.9	185.5	133.5	109.2	98.4	78.1	166.7
n-butane	405.8	307.0	327.3	224.0	104.1	156.7	121.5	102.2	114.2	97.8	120.5
2,2-dimethylpropane	139.6	89.5	61.0	69.1	43.6	32.0	72.0	48.0	40.7	49.6	55.3
i-pentane	247.4	223.0	192.5	207.2	99.5	216.1	198.9	143.5	116.1	92.4	143.3
n-pentane	262.9	217.5	199.1	203.1	125.8	199.9	196.2	183.1	133.9	84.2	154.5
2,3-dimethylbutane	170.6	164.6	132.0	151.5	73.4	141.0	110.3	103.0	92.0	82.7	70.4
2,2,3-trimethylbutane	150.8	113.3	92.4	90.5	66.2	90.2	97.0	87.0	79.5	76.0	84.7
2-methylpentane	97.9	168.0	128.4	116.1	104.0	100.4	120.6	112.9	87.2	68.6	90.2
3-methylpentane	119.4	117.6	90.4	123.3	115.6	96.4	95.5	81.6	76.6	90.8	80.4
n-hexane	286.8	304.6	249.8	249.6	139.6	240.7	223.3	227.7	186.0	104.3	178.5
ethylene	691.9	406.8	73.5	414.2	386.9	375.2	408.7	347.0	293.4	256.4	342.5
propylene	307.1	262.3	224.1	207.6	171.2	175.9	177.6	106.2	89.8	89.9	119.6
butene-1	47.9	47.2	43.0	39.7	40.4	23.5	30.3	20.4	16.8	10.9	18.9
i-butylene	60.4	71.3	51.8	56.3	32.6	42.7	29.4	14.8	15.0	10.2	14.2
trans-2-butene	45.6	34.6	22.0	22.2	24.6	18.5	20.2	11.1	10.8	9.3	14.4
cis-2-butene	44.4	33.9	23.8	25.2	24.0	20.8	26.3	9.0	16.5	8.4	15.6
pentene-1	22.0	20.2	11.7	5.0	12.6	3.8	2.0	1.1	0.5	—	1.0
pentene-2	—	9.6	—	1.0	3.0	1.1	—	—	—	—	—
3-methylbutene-1	7.0	3.0	4.4	3.0	1.0	2.0	—	1.0	1.0	—	—
2-methylbutene-1	2.0	3.9	1.0	—	0.0	—	—	1.0	—	—	—
acetylene	98.4	598.8	413.6	459.8	340.6	385.2	431.5	275.4	249.9	268.2	327.9
Methylacetylene	14.4	28.8	13.6	14.9	18.6	10.5	11.4	6.3	3.6	2.2	9.0
Ethylacetylene	4.0	6.0	2.0	3.0	3.4	1.1	1.0	—	—	—	—
propadiene-1,3	56.5	56.9	36.0	33.5	42.9	33.1	30.5	29.1	28.8	33.7	30.0
butadiene-1,3	46.9	30.5	16.9	16.3	49.2	20.5	16.4	14.4	15.6	16.6	11.6
2-methylbutadiene	—	—	—	—	3.0	—	—	—	—	—	—
pentadiene-1,3	4.0	3.5	1.0	1.0	1.0	1.7	—	1.0	1.0	—	—
合計	5244.1	4447.9	3716.9	3755.1	2746.3	3172.9	3149.4	2573.3	2164.6	1826.1	2450.4

butane, 2-Me-pentane, 3-Me-pentane (約70~170 ppm)が比較的高い濃度を示しており、これらはアイドル時および定速時でも高い濃度を示した成分である。

炭化水素をC₁~C₄, C₅~C₆パラフィン, オレフィン, アセチレン, ジオレフィンに分類して、全加速条件について示

表3-26

加速時の炭化水素濃度 (ppm)

成分	速度 (km/h)									
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100
C ₁ ~C ₄ paraffin	1715.9	1219.9	940.6	748.5	609.9	471.7	347.5	231.7	144.3	66.4
C ₅ ~C ₆ paraffin	1475.7	1164.6	1116.7	986.8	812.0	648.6	539.1	421.4	311.8	217.3
olefin	1228.3	855.3	663.5	511.6	443.8	385.1	307.8	274.5	204.5	152.2
acetylene	716.8	429.2	396.8	281.7	253.5	270.4	233.6	177.7	146.9	136.9
diolefin	107.4	53.9	55.3	42.7	45.4	50.3	60.9	60.8	46.9	41.6
合計	5144.1	3716.9	3172.9	2573.3	2164.6	1826.1	1447.9	1155.1	844.4	650.4

すと表3-26のとおりである。いずれの加速条件においてもC₁~C₄とC₅~C₆パラフィンの値がもっとも大きく、両者の間には大差はない。すなわち、C₅~C₆パラフィンは燃料成分を意味しており、吸入された燃料が未燃焼のまま多量に排出されている。燃料の解裂成分であるオレフィン、アセチレン、ジオレフィンでは、各加速条件ともオレフィンが大きく、アセチレンはやや小さい。ジオレフィンはもっとも低い。また、炭化水素の構成比を求めると、C₁~C₄パラフィンが25.8~32.7% (平均29.7%)で、C₅~C₆パラフィンは28.1~38.3% (平均33.3%)とやや大きく、定速時と同様にこの両者で排気炭化水素の過半を占める。オレフィンの割合は19.9~23.4% (平均21.3%)とついで大きく、アセチレンの割合は10.9~14.8% (平均13.0%)で、ジオレフィンが1.5~2.8% (平均1.9%)ともっとも小さい。炭化水素の構成比は加速条件、トランスミッションの位置によって大差がなく、加速時には排気中に約30~40%の燃料成分が含まれる。アイドル時の炭化水素の平均組成 (C₁~C₄パラフィン37.9%, C₅~C₆パラフィン22.1%, オレフィン23.1%, アセチレン15.0%, ジオレフィン1.9%), および定速時 (10~80 km/h)の平均組成 (C₁~C₄パラフィン36.8%, C₅~C₆パラフィン35.3%, オレフィン13.2%, アセチレン14.3%, ジオレフィン0.5%)とくらべると、加速時にはC₁~C₄パラフィンの占める割合がかなり小さく、C₅~C₆パラフィンの割合は定速時と大差がない。オレフィンおよびジオレフィンの割合はアイドル時と大差がなく、アセチレンはもっとも小さい。これらのことから、排気の炭化水素構成が運転状態の相違によって大きく異なり、とくにC₁~C₄およびC₅~C₆パラフィンの割合が著しく影響されることがみとめられた。

炭化水素の各成分の含量は加速条件で若干異なるが、主なる成分についての平均値はつぎのようである。methane 16.7%, ethylene, acetylene が12.6%と全く等しく、n-hexane は7.2%とこれにつく。i-butane, n-butane, i-pentane, n-pentane, propyleneは5.2~5.8%で比較的大きい。アイドル時および定速時の含量とくらべるとmethaneの割合には大差がなく、n-butaneはアイドル時の約1/2を示す。ethyleneはアイドル時 (12.7%)とほぼ同程度で定速時 (7.7%)よりかなり大きい。acetyleneは定速時 (11.4%)と大差がなく、アイドル時 (7.6%)よりかなり大きい。その他の成分についてもアイドル、および定速時の含量とは若干異なる。

炭化水素濃度と平均排出ガス量から求めた加速期間中の炭化水素の排出重量は表3-27に示す。炭化水素の濃度の傾向とは反対に、加速の初期速度の増大につれて排出重量は増加を示す。このことは速度の大きい条件からの加速には所要時間も長く、その間の排気の排出ガス量も急増するためである。本測定 (プリンス)の加速時には炭化水素の排出重量が約250~830 mgで、いずれの加速条件においても濃度と同様に、C₁~C₄パラフィン (約50~130 mg)とC₅~C₆パラフィ

表 3-27

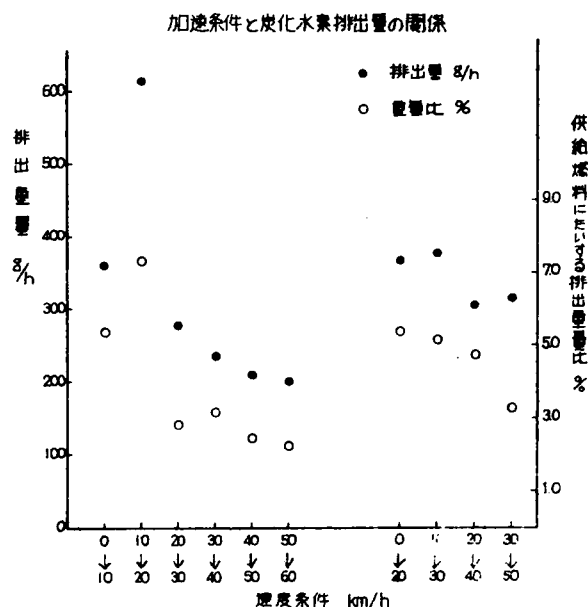
加速時の炭化水素の排出量
と供給燃料にたいする排出比

加速時の速度 km/h	(mg)															
	第一速	第二速	第三速	第四速			第一速	第二速	第三速	第四速						
種類	0→10	10→20	20→30	30→40	40→50	50→60	0→20	10→30	20→40	30→50						
C ₁ ~C ₄ paraffin	58.9	53.7	57.4	69.8	76.3	83.4	71.2	87.7	96.1	133.2						
C ₅ ~C ₆ paraffin	121.7	115.3	170.9	258.0	256.2	280.7	161.3	225.9	359.4	466.9						
Olefin	39.9	39.7	47.1	57.3	61.3	71.9	52.5	68.5	100.4	122.7						
Acetylene	26.7	22.9	32.9	39.6	42.9	63.4	39.4	48.1	76.3	98.4						
diolefin	4.6	3.2	5.2	7.0	8.6	13.0	6.4	6.7	8.9	13.1						
合 計	244.7	229.7	313.5	431.7	445.3	516.4	340.9	437.0	641.1	832.8						
供給燃料 g	4.55	7.19	10.91	13.40	17.66	21.76	6.11	8.45	13.31	24.68						
燃料にたいする炭化水素の排出重量比 %	5.38	7.37	2.87	3.22	2.52	2.37	5.42	5.17	4.82	3.37						

ン（約120～470mg）の両者が排出重量の過半を占める。オレフィンの排出量は約40～120mg、アセチレンは約20～100mgで、ジオレフィンの排出量が約3～13mgととっても小さい。表には加速時の燃料吸入量と、それにたいする排出炭化水素の排出重量比をも示す。

炭化水素の排出量を1時間あたりに換算して、各速度条件について図3-37に示す。図には供給燃料にたいする排出重量比をも示す。時間あたりの排出量は第二速10Km/h から20Km/h への加速時（617.1g/h）をのぞいて、10Km/h 中の加速では、停止（0Km/h）より10Km/h への加速時（362.5g/h）から初期速度の増大につれて減少し、第四速での50Km/h から60Km/h への加速時（201.2g/h）がもっとも小さい。20Km/h 中の加速時は337.7g/h～378.2g/hで、10Km/h 中の加速時とほぼ同様の傾向を示す。アイドル時（600rpm; 205.9g/h）、および定

図3-37



速時(10~80 Km/h)の値(1042~2335 g/h)にくらべると、加速時かなり大きい。加速時にはエンジンの出力を最大にするために吸入燃料量が急増し、かなり高濃度の炭化水素が排出され、エンジンの回転数も急激に高速回転となるために、排出重量が大幅に増加する。また、供給燃料にたいする炭化水素の排出重量比は、加速の初期速度が増すにつれて減少する傾向を示し、自動車の停止状態からの加速、すなわち発進加速時に5.38 wt%(0 Km/h から10 Km/h への加速)および5.42 wt%(0 Km/h から20 Km/h への加速)と最も大きい。アイドル時(600 rpm; 13.24 wt%)および定速時(1.37~6.33 wt%)にくらべると、供給燃料の利用度はアイドル時よりも良好で、定速時よりも若干低い。加速時には一定の加速度を維持するために、エンジンの出力を最高状態に保つ必要があり、燃料の吸入量を多くして出力を確保しており、定速時は自動車の走行慣性の作用も働いてより少ない燃料量で一定の出力がえられるためであると考えられる。

2-3-5 減速時の排気

(1) 所要時間・減速度

実験車(プリンス)を平坦な舗装道路で走行させ、初期速度10~50 Km/h から終末速度0~40 Km/h の減速条件について測定した。これらの減速条件は京都市内における自動車の走行パターンの調査結果(第五章)から選んだもので、平均所要時間も実態値に近ずけるためにフートブレーキを使用して制御した。

各減速条件における所要時間は表3-28に示す。また、フートブレーキを使用しない自然減速での平均所要時間は60

表3-28 減速時の所要時間、走行距離

トランスミッション	減速条件 Km/h	所要時間 秒			エンジンの回転数 rpm		速度 Km/h		減速度 Km/h/sec	走行距離 米	
		最大	最小	平均	最初	終末	最初	終末		ブレーキなし	ブレーキ
オー速	10→0	4.4	3.1	3.60	1600	600	10.4	0	2.89	—	5.2
オ二速	20→0	7.0	3.6	5.22	2200	600	20.8	0	3.98	—	15.1
オ三速	30→10	9.8	6.6	7.45	1700	600	29.1	10.3	1.18	—	19.4
オ四速	40→0	12.0	7.5	8.97	1500	600	40.8	0	4.45	235.3	50.9
	40→20	10.0	6.0	8.11	1500	800	40.8	21.7	2.36	56.5	21.4
	50→30	13.0	7.2	8.66	1900	1100	51.6	29.9	2.51	54.2	26.1
	60→40	11.0	7.8	9.35	2300	1500	62.5	40.8	2.32	45.2	28.1

Km/h から40 Km/h への減速で150秒、50 Km/h から30 Km/h への減速で180秒、40 Km/h から20 Km/h への減速で190秒、40 Km/h から0 Km/h への減速で41.5秒を示した。このことから、本測定での減速時間はフートブレーキで、21.6%~62.3%短縮された。各条件とも減速時間を正確に再現させることはきわめて困難で、減速時間の最大値と最小値の間には表に示すように若干のへだたりが生じた。平均減速時間は減速の初期速度の増大につれてしだいに増加し、その傾向は図3-38に示す。減速の終末速度が0 Km/h (停止)の場合と減速巾が20 Km/h の場合とに区別すると、減速時間は初期速度の上昇とほぼ直線的な関係を示すが、時間の増加勾配は10 Km/h 巾の減速と20 Km/h 巾の減速では大きく異なる。図には各条件での減速度についても示すが顕著な傾向はない。

表3-28には、各減速期間中の実験車の走行距離をフートブレーキを使用した場合と自然減速とについて示した。10 Km/h 巾および20 Km/h 巾の減速で、自然減速での進行距離は減速初期速度の増大につれて短くなる。ブレーキを使用すると高車速からの減速条件の所要時間が長くなるために反対の傾向を示し、ブレーキを使用しない場合の約21.6~62.3%の距離となる。また、表3-28には減速操作に入る直前と減速終了時のエンジンの回転数、および式3-13から求めた実速度、平均所要時間から求めた減速度をも示す。減速初期でのエンジンの回転数は相当する定速時とほとんど同様で、終末での回転数はやや高い。

減速条件と平均所要時間の関係

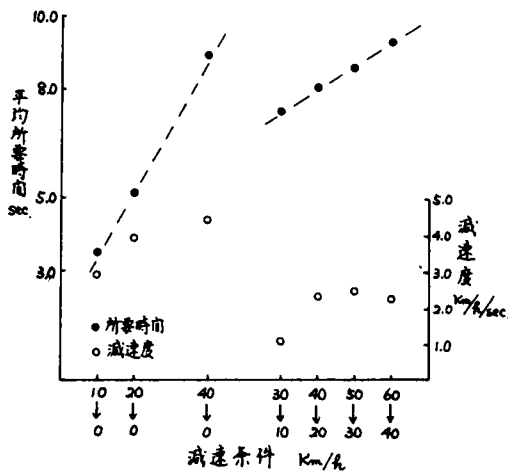


表3-29

減速時の燃料吸入量および排気量

トランスミッション	減速条件	吸入空気		吸入燃料		排気		減速率		吸入空気量 cmHg	
		速度 m/min	量 ℓ	速度 m/min	消費率 m/ps.h	速度 m/min	量 ℓ	初期	終末	初期	終末
一	10→0	7.040	2.7	4.98	3.0.4	0.070	4.2	15.8	48	55	55
二	20→0	0.104	4.2	4.62	19.6	0.063	5.5	29.7	47	55	55
三	30→10	0.092	11.5	3.24	12.8	0.127	15.8	48.9	40	58	58
四	40→0	0.096	14.3	10.44	15.4	0.143	21.4	60.6	37	60	60
五	40→30	0.100	13.6	3.99	53.4	0.119	16.1	16.6	37	60	60
六	50→30	0.139	20.1	4.64	48.3	0.191	27.5	24.5	35	62	62
七	60→40	0.135	21.0	2.12	20.0	0.175	27.3	26.0	35	62	62

注：吸入量および排気量は減速期間中の値を示す。

(2) 燃料消費、排気量

各減速条件での燃料の吸入量、ならびに排出ガス量の成績は表3-29に示す。減速時にはスロットルバルブが閉じ、燃料はアイドルジェット（アイドルポート）から供給されるだけで、燃焼による出力を要しないために供給燃料量は非常に小さく、燃料消費率も約1.3～5.3 g/ps.hとさきわめて小さい。吸入空気量、および排出ガス量も大きく減少し、本測定の減速期間における排出ガス量は約4～2.8 ℓである。同時に測定した自然減速での排出ガス量は6.0 Km/h から4.0 Km/h への減速5.5.8 ℓ（48.9%）、5.0 Km/h から3.0 Km/h への減速6.6.9 ℓ（41.1%）、4.0 Km/h から2.0 Km/h への減速4.0.3 ℓ（40.0%）、4.0 Km/h から0 Km/h への減速1.6.5.2 ℓ（13.0%）と、いずれも本測定条件であるブレーキ使用時よりもかなり大きい。（ ）内はブレーキを使用した場合の排出ガ

ス量が示す割合で、ブレーキの使用により減速時間が2.1.6～6.2.3%に短縮されると、排出ガス量も1.3.0～4.8.9%に減少する。表には吸入空気量と燃料量から求めた気液率を示すが、いずれも非常に高く、さきわめて薄い混合気状態でエンジンの出力が非常に低いことを示す。しかし、減速時にはシリンダーに吸入される混合気量がスロットルバルブを閉じるために著しく減少するから、インテークマニホールド圧は5.5～6.2 cmHg と非常に高くなり、排気の引きもどし現象²²⁾を生じること、サイクルピーク温度が低いこと²²⁾などから実際にはシリンダー内の燃焼状態はさきわめて悪い。

(3) 無機ガス成分（CO、CO₂、H₂、O₂）

排気中の無機ガス成分の濃度を速度条件について図3-39に示す。COは6.2～7.9%、CO₂は5.1～6.1%、H₂は2.4～4.7%、O₂は2.4～5.4%で、ともに速度条件による明らかな傾向がない。これらの減速時の濃度はアイドル時（600 rpm）の値（CO 6.5%、CO₂ 3.9%、H₂ 2.0%、O₂ 11.5%）にくらべるとCOとCO₂がやや大きく、H₂はわずかに大である。O₂はアイドル時よりもかなり小さく、減速時の燃焼状態はアイドル時と同程度か、やや燃焼効率が低いともみられる。Rose⁵⁰⁾は減速時（30～50 mph よりの減速）のCOは6.68～6.70%で、自然減速による場合とブレーキ使用による場合とではほとんど差がないと述べており、本測定（プリンス）とも大差はない。

(4) 炭化水素成分

減速時のC₁～C₄。炭化水素の成績は表3-30に示す。炭化水素の種類はアイドル、定速および加速時と同様であるが、個々の濃度は大きな違いを示す。2.0 Km/h 巾の減速時の炭化水素合計は2.0 Km/h から0 Km/h への減速時の約8.2.0.0

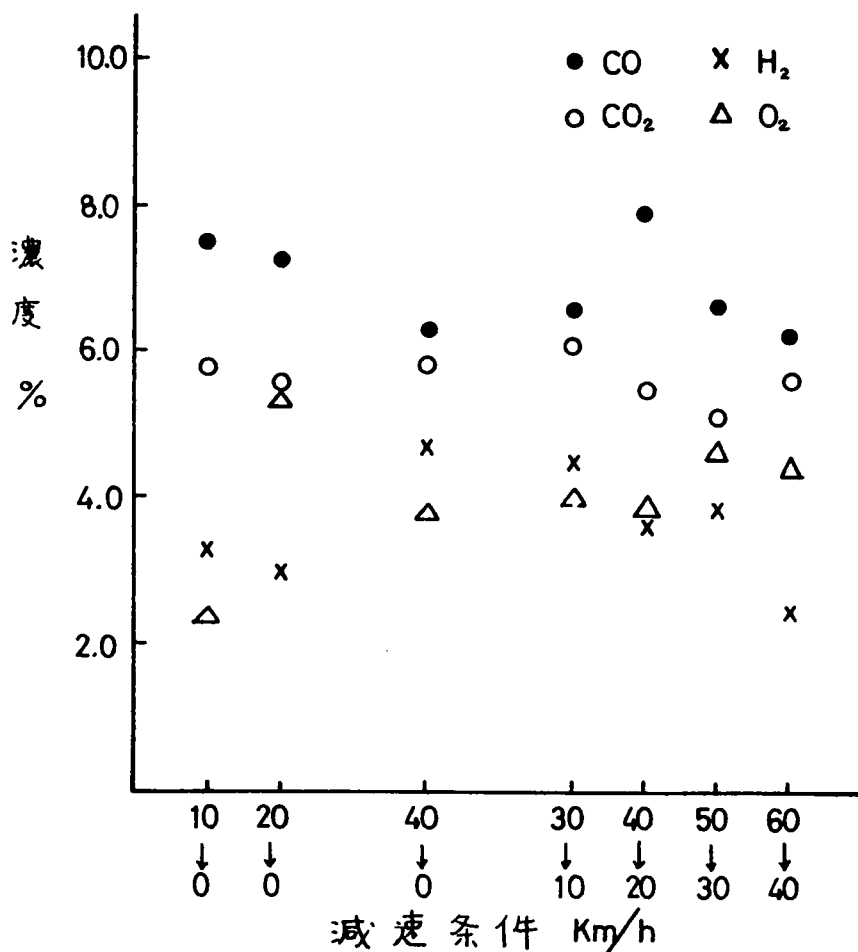


表3-30

減速時の炭化水素濃度

減速条件 Km/h	濃度 ppm					
	20→0	30→0	40→0	40→20	30→30	60→40
methane	1451.4	871.9	569.3	1018.6	880.4	440.8
ethane	111.4	48.3	43.9	93.6	90.6	39.6
propane	88.6	33.1	37.6	59.8	40.8	22.2
i-butane	408.8	279.7	121.1	219.6	197.0	86.2
n-butane	463.6	216.8	149.9	264.8	283.8	149.8
2,2-di-Me-propane	68.8	53.2	55.4	108.8	76.8	44.3
i-pentane	433.4	208.4	193.4	396.0	328.0	193.9
n-pentane	467.8	247.3	223.3	429.4	363.0	228.8
2,3-di-Me-butane	317.4	98.1	77.1	257.6	193.0	102.8
2,2-di-Me-butane	216.0	97.4	82.7	187.2	196.0	80.8
2-Me-pentane	196.0	101.4	129.6	254.2	206.2	95.6
3-Me-pentane	263.8	131.8	124.7	192.6	193.2	97.8
n-hexane	593.0	258.2	226.2	478.2	427.6	209.8
ethylene	985.4	687.8	552.0	856.2	796.8	335.7
propylene	99.6	421.8	211.8	358.4	334.2	166.1
butene-1	75.0	32.7	43.5	51.6	57.8	39.4
i-butylene	99.2	56.0	42.0	57.0	50.4	25.3
trans-2-butene	68.4	19.7	23.8	43.6	46.6	23.5
cis-2-butene	50.1	24.4	29.3	53.0	49.4	19.7
pentene-1	19.2	12.0	14.6	29.4	6.0	4.0
pentene-2	8.0	4.1	4.1	6.0	3.6	2.8
3-Me-butene-1	4.0	1.1	1.8	4.0	1.0	2.0
3-Me-butene-2	1.0	0.2	0.0	1.0	0.4	0.0
acetylene	1036.2	697.3	473.7	942.4	813.8	321.5
Me acetylene	52.8	29.6	23.4	28.0	21.8	11.5
Et acetylene	8.8	3.5	4.1	6.0	1.0	1.4
propadiene-1,3	101.6	30.4	48.5	66.4	81.6	26.6
butadiene-1,3	75.6	39.8	46.6	81.0	77.4	5.4
2-Me-butadiene	6.6	3.6	4.9	4.4	2.2	3.1
pentadiene-1,3	4.0	2.2	4.0	7.0	4.8	3.3
合計	8225.5	4711.8	3567.3	4560.8	5827.2	2825.7

ppm から減速初期速度が増すにつれて大巾に減少し、減速時には他の運転条件にくらべて非常に高濃度の炭化水素が排出される。Rose⁵⁰⁾は50~50mph 定速(48.2~80.5 Km/h)からの減速時で炭化水素は14,700~36,000 ppm と述べ、エンジンの記載がないから厳密には比較できないが、本測定値(プリンス)はこれにくらべてかなり小さい。アイドル時(600 rpm; 約5100 ppm)にくらべると、20 Km/h から0 Km/h、40 Km/h から20 Km/h、ならびに50 Km/h から30 Km/h への各減速条件での炭化水素値はいずれもやや大きい。各成分のなかではmethane, ethylene, acetylene が約320~1450 ppm, n-butane, i-butane, n-pentane, i-pentane, n-hexane, propylene が約90~590 ppm, 2,2-di-Me-butane, 2,3-di-Me-butane が約80~320 ppm, 2-Me-pentane, 3-Me-

pentane が約 100~260 ppm と比較的高い濃度を示し、その他の成分はおおむね 110 ppm 以下である。しかし、これらの値はいずれもアイドル、加速、定速時にくらべるとかなり大きい。

炭化水素の構成割合は $C_1 \sim C_4$ パラフィン 25.3~30.8% (平均 27.5%)、 $C_5 \sim C_6$ パラフィン 25.4~37.4% (平均 32.4%)、オレフィン 21.9~26.7% (平均 23.7%) で、いずれも減速条件によって若干異なる。アセチレンは 11.8~15.5% (平均 14.1%) で、ジオレフィンは 1.6~2.9% (平均 2.1%) を示し、ともに速度条件による大差はない。アイドル時の平均構成 ($C_1 \sim C_4$ パラフィン 37.1%、 $C_5 \sim C_6$ パラフィン 26.1%、オレフィン 26.2%、アセチレン 8.5%、ジオレフィン 2.0%) とくらべると、減速時は $C_1 \sim C_4$ パラフィンとオレフィンの割合がやや低く、 $C_5 \sim C_6$ オレフィンとアセチレンの割合がかなり大きく、ジオレフィンには大差がない。このことは、減速時にはシリンダー内の燃焼効率がきわめて低いために燃料成分 ($C_5 \sim C_6$ パラフィン) が未反応のままで多量に排出されていることを示す。主成分の平均含量は acetylene 13.5% (7.6%)、n-hexane 6.8% (2.6%)、n-butane 4.8% (14.8%)、i-butane 4.0% (2.4%) で、() 内のアイドル時(平均値)と大きく異なる。また、methane 16.4%、ethylene 13.5%、propylene、i-pentane 5~6% で、これらはアイドル時と大差はなく、減速時の燃焼状態がアイドル時と大きく異なることがみとめられる。

炭化水素濃度と排出ガス量から求めた排出重量 (mg) を $C_1 \sim C_4$ 、 $C_5 \sim C_6$ パラフィン、オレフィン、アセチレン、ジオレフィンならびに合計について表 3-31 に示す。減速期間中の炭化水素排出量は約 90~330 mg で、40 km/h から 10 km/h への減速時以外は初期速度の増大につれて排出重量も増加し、排気中の濃度とは反対の傾向を示す。このことは高速定速からの減速時には減速所要時間、および排出ガス量がともに大きく増加するためである。第四速で 60 km/h から 40 km/h への減速時の所要時間、排出ガス量は 50 km/h から 30 km/h への減速時と大差はないが、前者の炭化水素濃

表 3-31

減速時の炭化水素の排出量
と供給燃料量に対する排出比

減速条件 あり	速度条件					
	二速 20→0	三速 30→20	四速			
	20→0	30→20	40→0	40→20	50→30	60→40
$C_1 \sim C_4$ paraffin	18.3	29.7	24.4	33.0	52.8	26.2
$C_5 \sim C_6$ paraffin	47.3	63.0	79.6	124.1	183.2	95.8
olefin	15.4	30.0	29.9	35.7	58.3	26.2
acetylene	7.1	13.0	12.2	17.6	25.3	10.1
d.olefin	2.2	2.5	4.7	3.5	9.6	3.6
合計	90.3	138.2	150.8	215.9	329.2	161.9
供給燃料量 %	160	350	3.01	1.71	1.71	2.21
排出重量比 %	14.97	39.47	49.23	10.19	15.42	21.43

度は後者の約 48.5% に低下するために、排出重量はほぼ半減する。表には炭化水素の排出量が消費燃料にたいして占める重量比をも示した。Faith¹⁶⁾ は、一般に減速時に供給燃料重量の 20~60% が炭化水素として排出されると述べており、本測定 (プリンス) での排出重量比は 10.2~39.5 wt% (平均 25.10%) で、ほぼそれに近く、アイドル時 (600 rpm) の重量比 (13.24%) とくらべて、減速時の排出比が非常に高く、燃料の燃焼状態がきわめて悪いことを示す。

各減速条件での CO 、 CO_2 、 H_2 、および炭化水素の濃度と排出ガス量、ならびに平均所要時間から求めた時間当りの排出重量を各速度条件について表 3-32 に示す。各成分の時間あたり排出量は減速初期速度の増大につれて増加するようにみられるが顕著ではない。これらの値をアイドル時 (600 rpm; CO_2 1,653.6 g/h, CO 1,755.0 g/h, H_2 38.6 g/h, 炭化水素 205.9 g/h) にくらべると、 CO_2 は約 $\frac{1}{2}$ 、 CO 、 H_2 および炭化水素は約 $\frac{1}{3}$ 程度である。減速時には CO_2 をのぞく各成分とも、排気中の濃度がアイドル時よりもかなり大であるが、減速時の排出ガス量が非常に少ないために時間当たり排出量はアイド

表 3-32

減速時の排出量

速度条件 km/h	CO_2 %	CO %	H_2 %	炭化水素 %
第一速 10→0	479.0	394.0	12.0	—
第二速 20→0	417.2	239.3	10.3	31.1
第三速 30→10	915.2	630.1	30.4	57.9
第四速 40→0	978.5	676.3	36.1	60.5
" 40→20	772.4	705.8	23.1	47.9
" 50→30	1145.7	943.2	38.7	67.9
" 60→40	1156.2	814.7	22.3	62.3

ル時よりも小さくなる。すなわち、汚染物の排出絶対量からみると、アイドル時よりもむしろ減速時が大気汚染にたいする貢献度は低いことになる。

2-3-6 自動車の既走行距離による排気の変化

シリンダーに吸入された混合気の不完全燃焼成分の排出濃度や排出量はエンジンの疲労度によってかなり影響され、¹³¹⁾ 自動車の既走行距離が増大する。すなわち、車令が古くなるにつれてエンジン各部の疲労損耗が生じ、混合気の吸入、燃焼排気の排出機構や点火機構の狂い、シリンダー壁およびピストンの磨耗、シリンダー内の堆積物などの原因から燃焼効率が大きく低下する。²²⁾ Sweeny ¹⁰⁴⁾ は走行距離の影響について、新車（走行距離 0 mile）から約 10,000 マイル走行の間に CO 濃度が急増し、その後はややゆるやかに上昇を示す。炭化水素濃度は新車から約 20,000 マイル（約 32,000 Km）走行までにほぼ 50% 近く増大し、その後はややゆるやかに上昇すると述べた。

本章のこれまでは、わが国の都市で比較的多い中古車による汚染物の排出状況を知るために、既走行距離の大きい自動車（プリンススカイライン、1,500cc、1961 年型、約 17 万 Km 走行）を使用した。これにたいして新車、あるいは走行距離の小さい場合には不完全燃焼成分の排出状況がかなり異なると考えられることから、同系統の自動車を用いて既走行距離による排出状態の違いを検討した。実験車はプリンススカイライン、1,500cc、1961 年型車、（既走行距離 67,000 Km）、同 1964 年型車、（既走行距離 19,000 Km）、同 1967 年型車、（既走行距離 145 Km）で、それぞれの成績を前述の 1961 年型車、（既走行距離約 17 万 Km）と比較した。実験条件はいずれも自動車の走行を停止させたアイドル状態で、エンジンの回転数を 600 rpm に調整したのち各測定を行なった。

アイドル時（600 rpm）の燃料消費量（ml/min）、燃料消費率（g/ps・h）、気液率および推定出力を走行距離に

表 3-33

走行距離による相違

年式	既走行距離 Km	燃料消費		燃費率 km/g	気液率 cc/g	排気量 m ³ /min	推定出力 PS	無機ガス濃度 %			
		量 ml/min	率 g/ps・h					CO	CO ₂	H ₂	O ₂
1967	145	27.10	163.7	50	11.2	0.386	7.5	3.6	11.2	0.8	0.6
1964	19000	29.84	180.2	50	10.4	0.384	7.5	4.2	10.4	1.0	1.1
1961	67000	33.60	227.3	52	9.6	0.372	6.7	5.3	7.2	1.8	3.3
1961	168000	34.37	233.5	53	7.9	0.360	5.3	6.5	3.9	2.0	11.5

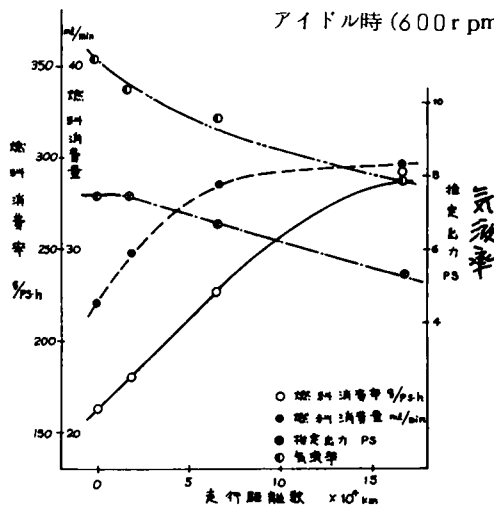
ついて示すと表 3-33 および図 3-40 のとおりである。出力の推定は圧縮圧の測定の測定 ¹³⁸⁾

にもとづくもので、新車および約 1 万 9 千 Km 車はほぼ定格値 ¹²⁷⁾ である。約 6 万 7 千 Km 車は定格値の 89% に、約 17 万 Km 車は 71% に低下し、このことは同一出力にたいする燃料消費量の増加を意味する。約 1 万 9 千 Km 車は新車の燃料消費量、および燃料消費率にくらべて 10.1% の増加を示すが、約 6 万 7 千 Km 車での増加は 24.0%、約 17 万 Km 車では 28.2% とかなり大きい増加を示す。

インテークマニホールドバキューム圧は新車と約 1 万 9 千 Km 車では 50 cmHg で、約 6 万 7 千 Km 車では 50~52 cmHg、約 17 万 Km 車では 50~53 cmHg を示し、測定時のバキュームゲージの指針の変動もこれらの中古車ではかなり大きく、エンジンの老化につれて気化器の状態、吸気系のタイミングがかなり不良化する ¹⁴⁵⁾ ことを示す。

アイドル時の排出ガス量は新車では 0.386 m³/min で、走行距離の増加につれてわずかに減少して、約 1 万 9 千 Km 車では 0.384 m³/min、約 6 万 7 千 Km 車では 0.372 m³/min を示す。約 17 万 Km 車では 0.360 m³/min と新車の値から

図 3-40 走行距離数による燃料消費、出力の変化
アイドル時（600 rpm）



約7%の減少となる。また、気液率も、新車の1.2から次第に濃厚燃料側に移り約17万Km車では7.9と非常に低く、同一条件にたいしてかなり多量の燃料を要することを示す。

無機ガス成分の濃度(CO、CO₂、O₂、H₂)を走行距離について図3-41に示す。CO、H₂およびO₂は走行距離とともに増大し、CO₂は反対に大きく減少する。COは新車での3.6%から次第に増加し、これにたいして約1万9千

図3-41 走行距離数による無機ガスおよび炭化水素濃度の変化

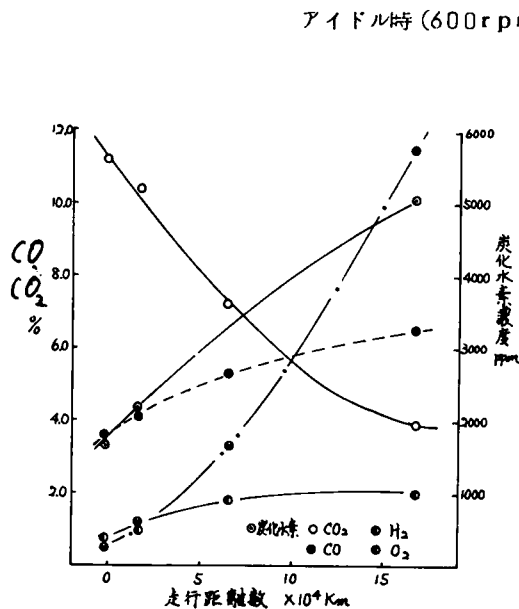


表3-34 走行距離数による炭化水素濃度の相違
アイドル時(600rpm)

成分	走行距離数		
	約145km	約209km	約172km
methane	340.5	477.7	882.9
ethane	26.3	27.9	67.7
propane	18.9	28.8	45.7
i-butane	67.3	73.0	93.3
n-butane	136.7	146.8	835.1
2,2 di Me propane	36.5	45.6	—
i-pentane	106.6	104.2	308.0
n-pentane	131.2	156.8	307.5
2,3 di Me butane	26.3	31.6	1.8
2,2 di Me butane	29.9	33.1	108.0
2 Me pentane	55.3	62.3	90.0
3 Me pentane	34.6	44.9	125.1
n-hexane	96.1	109.7	127.2
ethylene	217.7	256.5	600.1
propylene	93.7	146.8	256.4
butene-1	20.2	23.1	89.6
i-butylene	14.3	19.6	111.4
trans-2-butene	16.6	17.7	62.4
cis-2-butene	19.0	17.8	56.6
pentene-1	1.0	3.0	—
pentene-2	0.0	1.0	—
3 Me butene-1	0.0	0.0	—
2 Me butene-1	0.0	0.0	—
acetylene	253.4	321.4	724.2
Me acetylene	5.5	8.9	37.6
Et acetylene	0.0	1.0	—
propadiene 1,3	4.9	7.9	35.5
butadiene 1,3	8.8	11.3	59.1
2butadiene 1,3	0.0	0.0	—
pentadiene 1,3	0.0	1.1	—
合計	1761.3	2177.5	5076.2

Km車(4.2%)は16.7%、約6万7千Km車(5.3%)は47.2%、約17万Km走行車(6.5%)では80.6%と大きく増加する。H₂の傾向はCOとほぼ同様で、O₂の増加傾向は著しく大きく、エンジンの疲労から吸排気の弁機構の不良化によるものとみられる。CO₂もエンジンの老化により大きく減少し、新車での濃度(11.2%)にたいして約7万Km車(7.2%)は35.7%、約17万Km車(3.9%)は65.2%と著しく大きい減少率を示す。このようなことから、混合気の燃焼効率にはエンジンの老化によって大きく低下しているとみとめられる。

アイドル時の炭化水素の成績は表3-34に示す。検出成分の種類については差異はなく、新車で約1,760 ppm、約1万9千Km車では約2,180 ppmで、新車にたいして23.6%増加し、約17万Km車は約5,080 ppmで、新車の約2.88倍と非常に高い濃度を示す。各成分のなかで、約17万Km車ではn-butaneの含量が約17%と非常に大きく、新車および約1万9千Km車のn-butaneは約7~8%と大きく異なるが、他の成分については走行距離の違いによる含量に大差はない。n-butaneは燃料の解裂成分で、老化したエンジンでは解裂成分の酸化が十分進行せず、そのまま排出されるものと考えられる。

炭化水素の構成割合についてみると、C₁~C₄パラフィンは約34~38%で、走行距離が増すにつれてわずかに増す。C₅~C₆パラフィンは約22~30%で、走行距離が増すと明らかな減少を示す。オレフィン(約21~23%)で大差はない。アセチレンの割合は約15%とほとんど同程度である。ジオレフィンは約1~2%で大差はない。走行距離の大きい自動車ではエンジンの疲労から燃焼効率が大きく低下して供給燃料が分解、または解裂したまま燃焼に利用されずに排出される。このため排気中のC₁~C₄

成分の割合が増大するとみられる。

炭化水素濃度と排出ガス量から求めたアイドル時 (600 rpm) の炭化水素排出量は表3-35に示す。新車の排出量約78 g/h にたいして、約1万9千Km車では18.6%増加し、約17万Km車は約2.6倍と非常に多量の排出を示す。炭化水

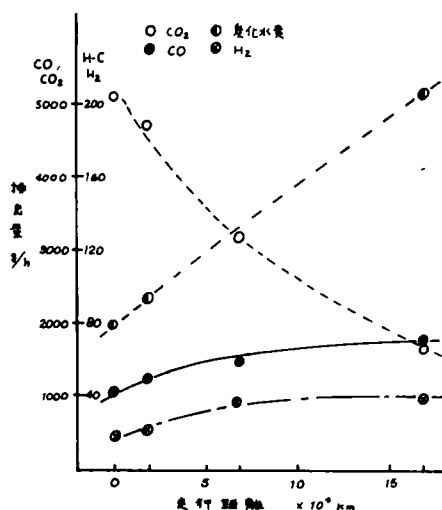
表3-35 走行距離数による炭化水素の
排出量の相違

成分		アイドル時 (600 rpm) g/h		
		新車	1297 Km	175 Km
C ₁ ~C ₈ paraffin		18.0	21.3	64.3
C ₉ ~C ₁₂ paraffin		39.1	44.4	77.5
Olefin		13.5	17.2	41.4
acetylene		6.6	8.5	18.5
diolefin		0.7	1.0	4.3
合計		77.9	92.4	205.9
新車排出に たいする 増加率		3.71	4.31	13.24

素の排出重量についての構成比は、新車および約1万9千Km車がほとんど同様で、約17万Km車ではパラフィンの割合がやや小さく、オレフィンおよびジオレフィンの占める割合がやや大である。表には供給燃料にたいする炭化水素重量の排出重量比をも示す。新車の重量比は3.71wt%で、約2万Km車では4.31wt%とやや大きい。約17万Km車では13.24wt%と、新車の約3.6倍も大きく、未燃焼のままで排出される炭化水素量が著しく大きい。

さらに、CO、CO₂ およびH₂の無機ガス成分について時間当りの排出重量を濃度および排出ガス量から求め、走行距離について図3-42に示す。図には炭化水素合計についても示

図3-42 走行距離数と排出量の関係
アイドル時 (600 rpm)



す。COの排出重量は約1万9千Km車 (1,901.0 g/h) は新車 (1,638.2 g/h) にたいして約16%増加し、約6万7千Km車 (2,324.1 g/h) は約42%、約17万Km車 (2,757.9 g/h) は約68%の増加を示す。H₂の排出量は、約1万9千Km車 (20.6 g/h) が新車 (16.6 g/h) にたいして約20%、約6万7千Km車 (35.9 g/h) は約2.1倍、約17万Km車 (38.6 g/h) は約2.3倍の増加を示す。炭化水素の排出量は約6万7千Km車についての成績がないために、厳密には比較できないが上記とほぼ同様の傾向とみられる。CO₂の排出重量は走行距離の増大につれて減少し、約1万9千Km車 (2,995.9 g/h) は新車 (3,242.3 g/h) にくらべて約7%、約6万7千Km車 (2,008.5 g/h) は約38%減少する。約17万

Km車 (1,053.0 g/h) は減少率が約67%と著しく大きい。

以上のことから、自動車の走行距離の増大、すなわち、エンジンの老化による不完全燃焼成分の排出傾向は、概ね新車から約6万7千Km程度の走行までかなり急勾配で増加を示し、その後はややゆるやかに排出量が増加すると考えられる。また、約6万7千Km走行ではエンジンの出力が定格時の89%程度に減少しており、燃料消費率および排気成分の排出濃度などの点から、この時期にエンジンのオーバーホールなど、かなり丁寧な再整備を施すことが大気汚染防止、および自動車の性能保守上にきわめて有効であろうと推察される。

2-4 総括

わが国における自動車排気にもとづく大気汚染とその防止のための基礎資料をえることを目的として、国産自動車 (プリンススカイライン1500cc, 1961年型) による都市走行を行ない、その際の排気成分を測定した。実験にあたっては、実際の都市の大気汚染にたいする貢献度の大きい中古車をはじめの対象とし、終りに新車および既走行距離の小さい実験車を使用して、エンジンの疲労度と汚染物の排出状況について検討した。その結果を要約するとつぎのとおりである。

2-4-1 アイドル時の排気

自動車停止したアイドル時（トランスミッション；中立）にエンジンの回転数を600～1,000 rpmとして検討した。都市走行での一時停止に相当する600 rpmについての概略はつぎのとおりである。

1) 実験車は中古車ですでに約17万kmの走行をしており、出力が定格時の約70%に低下した。このため、燃料消費率（約290 g/ps・h）は定格時より大きく、容積効率もきわめて低い。気液率は7.9で、きわめて濃厚燃料の状態を示した。

2) 排気はCO 6.5%、CO₂ 3.9%、H₂ 2.0%、O₂ 11.5%を示し、COとO₂濃度が非常に高く、混合気の燃焼状態がきわめて良くない。これらの排出量はCO 1,755.0 g/h、CO₂ 1,653.6 g/h、H₂ 38.6 g/hである。

3) 排気から合計5,076.2 ppmのC₁～C₆炭化水素が検出され、その構成はC₁～C₄パラフィン37.9%、C₅～C₆パラフィン22.1%、オレフィン23.1%、ジオレフィン1.9%、アセチレン15.0%で、アイドル時（600 ppm）には燃料の解裂成分の割合が大きく、とくにアセチレンの割合が著しく大である。

4) 炭化水素のなかでは、methane、n-butane、ethylene およびacetyleneが約600～880 ppm、n-pentane、i-pentane、propylene が約250～310 ppmと比較的高い濃度を示した。

また、炭化水素の排出重量205.9 g/hで、パラフィンがもっとも大きい割合を占める。供給燃料にたいする炭化水素の排出重量比は13.24 (wt)%と著しく大で、燃料の利用度が非常に低いことを示す。

2-4-2 定速時の排気

実験車を平坦な舗装道路上で走行させ、運転条件はトランスミッションの位置で車速10～80 km/hに制御した。市内走行での定速に相当する第四速（30～80 km/h）について要約するとつぎのとおりである。

1) 燃料消費量は運転条件で大きく異なる。30 km/h定速での燃料消費率は約288 g/ps・hで、車速の増大につれて減少し、50 km/hでもっとも低い値（約223 g/ps・h）を示す。さらに、車速が増すと燃料消費率は大きく増加する。燃料1ℓあたりの走行距離は、車速50 km/hでもっとも大きい値（7.3 km/ℓ）を示す。

定速時（30～80 km/h）のエンジンの回転数は1,100～3,100 rpmで、インテークマニホールドバキューム（20～45 cmHg）は車速が増すと低下する。吸入空気量は0.396～1.760 m³/minで、エンジンの容積効率（64.1～84.0%）はアイドル時より高い。気液率（9.7～16.6）は車速が増すにつれて理論比に近づく。

2) 排気温度は運転条件でかなり異なり、車速が増すと急上昇を示す。第四速車速30 km/hで90℃、60 km/hで180℃、80 km/hで291℃に達する。排出ガス量も運転条件で大きく異なる。第四速では30 km/hの0.463 m³/minから80 km/hの1.185 m³/minまで車速とともに増大する。

3) 無機ガス成分の濃度はトランスミッションの位置と車速でかなり異なる。CO、O₂、およびH₂濃度は車速が増すと減少し、CO₂濃度は反対に増加する。第四速60 km/hではH₂ 1.0%、CO 3.1%、O₂ 2.1%、CO₂ 8.2%と燃焼状態がもっとも良好である。さらに車速が増すとH₂およびCOが増加する。各成分の排出重量も運転条件で大きく異なり、第四速ではCO約1,600～3,900 g/h、H₂約45～100 g/h、CO₂約3,300～12,100 g/hである。CO排出量は車速30～50 km/hでは大差なく、60 km/hをこえると排出ガス量が急増するから著しく増える。

4) 炭化水素濃度は運転条件で大きく異なり、第一速（10～20 km/h）約2,700～3,400 ppm、第二速（20～30 km/h）約2,000～3,000 ppm、第三速（20～40 km/h）約1,900～2,500 ppm、第四速（30～80 km/h）約900～2,100 ppmを示し、第四速では車速が増すにつれて濃度は低下する。定速時の平均構成比はC₁～C₆パラフィン19.6%、C₅～C₆パラフィン16.0%、C₅～C₆パラフィン37.6%、オレフィン12.8%、アセチレン10.9%、ジオレフィン0.8%で、パラフィンがもっとも大きい割合を占める。各成分については、methane、n-butane、acetyleneの含量が約11～17%ともっとも大きく、i-pentane、n-hexane、ethyleneは約6～8%と比較的大きい含量を示す。

5) 炭化水素の排出量は、第一速(10~20Km/h)約214~297g/h、第二速(20~30Km/h)約193~317g/h、第三速(20~40Km/h)約144~221g/hを示す。第四速(30~80Km/h)では30Km/h(約126g/h)から車速とともに減少して60Km/h(約104g/h)でもっとも小さい。さらに車速が増すと排出量も増し、80Km/hでは約142g/hに達する。供給燃料にたいする排出重量比は第一速4.37~6.33(wt)%,第二速3.90~5.54(wt)%,第三速3.51~4.72(wt)%で、第四速では30Km/hの3.97(wt)%から車速の増加につれて低下し、80Km/hでは1.37(wt)%でもっとも小さく、定速時には燃料の未燃焼成分が過半を占める。

2-4-3 加速時の排気

定速時にスロットルバルブを全開した加速について測定した。速度条件はトランスミッションの位置によって初期速度0~50Km/hから終末速度10~60Km/hとした。

1) 燃料消費率はアイドル、定速時にくらべて非常に大きく、運転条件によって大きく異なる。気液率は8.4~13.2で定速時に近い。排出ガス量は加速の終末速度と等しい定速時よりも大きい。

2) 無機ガス成分の濃度は加速条件でかなり異なり、濃度範囲はCO 2.9~8.0%, H₂ 0.3~0.7%, O₂ 2.0~5.1%, CO₂ 7.0~12.2%である。アイドル時にくらべてO₂が著しく減少し、CO₂がかなり大きい。COはおおむね初期速度の増大につれて減少する。各成分の排出量はCO約1,500~4,600g/h、H₂約11~27g/h、CO₂約4,700~10,900g/hで、初期速度とともに増加を示す。

3) 炭化水素濃度は約1,800~5,200ppmで、加速条件で大きく異なるが、おおむね初期速度の増加につれて減少する。炭化水素の構成比は、C₁~C₄パラフィン29.7%, C₅~C₆パラフィン34.1%, オレフィン21.3%, アセチレン13.1%, ジオレフィン1.7%で、パラフィンがもっとも大きい割合を占める。各成分のなかでは、methane, ethylene 約13~17%, n-hexane, i-butane, n-butane, i-pentane, propylene 約5~7%と比較的大きい含量を示す。

炭化水素排出量(約201~620g/h)は加速条件で大きく異なり、終末速度の増大につれて増加する。供給燃料にたいする排出重量比は2.37~7.37(wt)%で、アイドル時にくらべて約 $\frac{1}{3}$ ときわめて低い。

4) 実際の都市走行で多く現れる発進加速時(停止から10Km/h、40Km/h)のCOおよび炭化水素濃度は非常に大であるが、加速期間中の排出絶対量は加速初期速度の増大につれて増加する。発進加速時の排出量はCO約1,900~2,400g/h、炭化水素約250~360g/hを示す。

2-4-4 減速時の排気

定速走行時にスロットルバルブを全閉し、フットブレーキで一定時間内に減速する条件について測定した。実際の都市走行で現れる時間で、初期速度20~60Km/hから終末速度0~40Km/hの減速条件とした。

1) 減速時はスロットルバルブが全閉となるため、吸入空気量と燃料量は大きく減少し、燃料消費率(12.8~53.8g/ps·h)はきわめて小さく、インテークマニホールドバクウム(55~62cmHg)が非常に高い。

2) 無機ガス成分の濃度は速度条件でかなり異なるが、減速条件にたいする明らかな傾向はない。濃度範囲はCO 6.2~7.9%, H₂ 2.4~4.7%, O₂ 2.4~5.4%, CO₂ 5.1~6.5%で、自然減速とフットブレーキによる減速時とに顕著な違いはない。各成分の排出量はおおむね初期速度とともに増し、CO約420~1,160g/hを示す。

3) 炭化水素濃度(約2,800~8,200ppm)はアイドル、加速、定速時よりも著しく高く、高速からの減速時が低い。炭化水素の構成比はC₁~C₄パラフィン27.5%, C₅~C₆パラフィン32.4%, オレフィン23.7%, アセチレン14.1%, ジオレフィン2.1%で、パラフィンが過半を占める。各成分のなかで、methane, ethylene, acetylene 約14~16%, n-hexane, propylene, i-pentane, n-butane, i-butane 約4~7%が比較的大きい含量を示す。

炭化水素の排出量は約200～617 g/h で、減速条件による明らかな傾向はない。供給燃料にたいする排出重量比（10.1～39.5（wt）%）はアイドル、加速、定速時よりも著しく大きい。減速時には高濃度の未燃焼成分が排出するが、排出ガス量が小さいために排出量は定速、加速時ほど大きくない。

4) 実際の都市走行で多く現れる走行停止に至る減速時（20Km/h、30Km/h、40Km/h から0Km/h への減速）のCO濃度（約6～8%）には大差なく、炭化水素（約3,600～8,200 ppm）は非常に高濃度で、減速初期速度が大きくなるにつれて減少する。走行停止に至る減速時の排出量はCO約390～680 g/h、炭化水素約31～61 g/h を示す。

2-4-5 自動車の既走行距離による差異

これまでに使用した実験車は既走行距離が約170,000Kmの中古車で、エンジン各部の疲労から燃焼効率が大幅に低下し、未燃焼成分の排出量も大きい値を示した。そこで、自動車の既走行距離の違いによる排気成分の変化をみるために、同系統（プリンススカイライン）の自動車、1967年型の新車（約145Km走行）、1964年型車（約19,000Km走行）、1961年型車（約67,000Km走行）および1961年型車（約170,000Km走行）について検討した。その概要はつぎのとおりである。

1) 新車および約1万9千Km車のエンジン出力はほぼ定格値で、約6万7千Km車は定格値の約89%に、約17万Km車は約71%と大幅な低下が推測され、実用的見地から約7万Km走行程度が限度とみられる。約1万9千Km車（アイドル時）の燃料消費率は新車より約10%大きい。約6万7千Km車は約124%、約17万Km車は約128%と大幅に増加する。

2) アイドル時（600rpm）のCO濃度は新車が3.6%で、約1万9千Km車4.2%、約6万7千Km車5.3%で、約17万Km車（6.5%）は新車の2倍にちかい濃度となる。CO₂濃度は既走行距離の増加につれて大きく減少し、エンジンの老化によって混合気の燃焼効率が大幅に低下することを示す。COの排出量は新車約1,640 g/h で、約1万9千Kmは約16%増加し、約6万7千Km車は新車の約2.1倍、約17万Km車は約2.3倍と大幅に増大する。

3) アイドル時（600rpm）の炭化水素濃度は新車約1,760 ppm で、約1万9千Km車（約2,180 ppm）は23.6%増加し、約17万Km車は新車の約2.9倍と非常に高い。炭化水素構成は、新車と約1万9千Km車とはほぼ同様で、約17万Km車はC₄～C₅オレフィンの割合がかなり増し、燃焼に利用されない燃料成分が増大する。炭化水素の排出量は新車約78 g/h で、約1万9千Km車は約20%増大し、約17万Km車は新車の約2.6倍と非常に多量が排出される。供給燃料にたいする排出重量比も新車3.71（wt）% で、約1万9千Km車は4.31（wt）% と大差がない。約17万Km車は13.24（wt）% と著しく大きい。

第3節 シャーシーダイナモテストによる排気

はじめに

自動車の排気成分の測定は本章第1節で述べたように、大気汚染ポテンシャルの見地から実際の街路走行時の測定と、行政的見地からシャーシーダイナモメーターを用いた測定とに分けられ、本章第2節では前者の場合について述べた。本節では後者の方法による測定結果について述べる。

3-1 研究目的

自動車排気による大気汚染についての基礎資料をえるために、都市街路で実験車の運転を系統的に制御したロードテストの結果は前節で述べた。ロードテストは路線の選定や成分の測定法などが簡単でないために、行政的見地からシャーシーダ

イナモテスト法が用いられた。すなわち、米国¹⁴⁷⁾ およびわが国¹⁴⁸⁾ では、大気汚染にたいする真の貢献度にもとづく評価よりも、むしろ処理装置の性能比較のための目安として操作が比較的容易なことから用いられたが、排気ガスの評価の上で多くの問題点が指摘され¹⁵⁾ ロードテストによる成績とかなり異なる¹³⁾ と述べられている。しかし、現時点ではシャシーダイナモテストが排気ガスの法的規制の基準とされ、自動車の走行パターンも米国では7モードサイクル、わが国では4モードサイクルとして排出基準(米国; CO 1.5%, n-hexane, 275ppm, わが国; CO 3.0%)が規定⁹⁾ されている。

これらのことから、本節ではロードテストに使用した実験車について、米国およびわが国のシャシーダイナモテストを行なった。

3-2 実験装置ならびに方法

本実験における測定装置ならびに測定条件はいずれも米国での試験法¹⁴⁸⁾ およびわが国の試験法¹⁴⁾ にしたがった。その概略はつぎのとおりである。

3-2-1 シャーシダイナモメーター

この装置¹⁷⁾ は試験自動車が積車状態で、舗装平坦路を走行する場合の走行抵抗に相当する負荷を固定した自動車の駆動輪に加えるもので、実際の道路の代りに回転ドラムの仮想道路上に試験車をのせて、走行抵抗をドラムに加える。その概略は図3-43に示す。走行抵抗は各速度のインタークマニホールドバキュームで定められ、計算による場合は次式から定めら

図3-43

シャーシダイナモメーターの概略

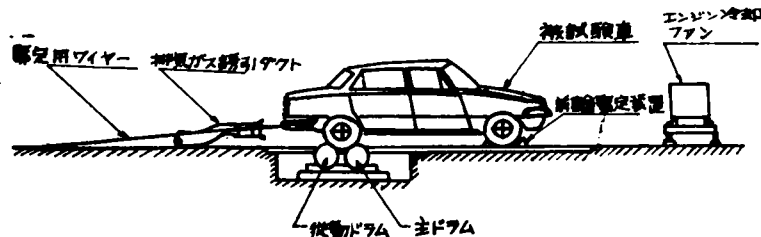


表3-36

ダイナモメーターテストにおける等価慣性質量¹⁴⁾ ¹⁴⁷⁾

	試験自動車の積車状態(Kg)	等価慣性質量(Kg)
わが国の場合	~ 875	750 kg
	876 ~ 1125	1000 kg
	1126 ~ 1375	1250 kg
	1376 ~ 2500 kg 以上	3500 kg
	3376 ~ 3625	3750 kg
米国の場合	3626 ~ 3875	4000 kg
	3876 ~ 4125	4500 kg
	up to 1750 lb	1500 lb
	1751 to 2250 lb	2000 lb
	2251 to 2750 lb	2500 lb
合	2751 to 3500 lb	3000 lb
	(3251 ~ 3750 lb)	3500 lb
	3501 to 4500 lb	4000 lb
	(4251 ~ 4750 lb)	4500 lb
	4501 to 6000 lb	5000 lb

れる。¹⁴⁷⁾

$$F = \mu_r W + \mu_e A V^2 \dots\dots\dots (3-44)$$

ただし、F; 走行抵抗, Kg, W; 車輛総重量Kg, μ_r ; コロガリ抵抗係数, μ_e ; 空気抵抗係数, A; 前面投影面積, m², V; 速度Km/h

米国およびわが国のテスト法ではシャシーダイナモメーターの等価慣性質量が表3-36のとおりで、試験車の積車状態に相当するよう規定され、¹⁴⁷⁾ ¹⁴⁹⁾ 本測定もこれにしたがった。使用したシャシーダイナモメーター(日立製)は四輪装輪車試験用(試験車総重量; 500~2000Kg, ローラ外径; 350mm, ローラ巾; 2100mm, 動力吸収方式; リターダ, 最大吸収動力, 88ps。

最高試験速度・100km/h)である。

3-2-2 非分散型赤外分析計 (NDIR)

排気のCOとn-hexane濃度は米国およびわが国の試験法に採用されているNDIR¹³⁾で測定した。(掘場製, ME XA-13JR; 測定範囲, CO 1.0~12%, CO₂ 0~16%, n-hexane 0~2,000ppm, n-hexane, 0~10,000ppm デッドタイム, 2.5秒以内, 試料採取流量16~20ℓ/min)

測定記録の解析は7モードサイクルを米国の試験法¹⁴⁷⁾4モードサイクルをJIS D-1030¹⁴⁾にしたがった。すなわち、各速度条件に示されている継続時間内の平均濃度を求め、濃度補正係数 $(15/10 + CO_2)$ を乗じて、各速度条件における平均濃度とする。この場合の濃度補正係数は二次空気による排気の希釈効果などを補正するため¹⁴⁷⁾に用いるもので、とくに減速条件の補正係数には $(15/6HC + CO + CO_2)$ を用いる。さらに、各速度条件に規定されている評価係数(荷重係数)を乗じて合計した総和を試験車の平均排出濃度とするもので、各速度条件(加減速)、継続時間、濃度補正係数ならびに荷重係数は表3-37に示す。

表 3-37

テストサイクルの荷重係数¹⁴⁾
7モードサイクル

項目 番号	速度条件 Km/h	加速減速 Km/h/Sec	継続時間 %	濃度補正 係数	荷重係数
1	アイドル	0	20	$\frac{15}{CO+CO_2}$	0.420
2	加速	0→40.2	3.54	11.5	0.244
3	定速	48.2	15	"	0.118
4	減速	48.2→24.1	-2.25	11	$\frac{15}{CO+CO_2+6HC}$ 0.620
5	定速	24.1	15	$\frac{15}{CO+CO_2}$	0.500
6	加速	24.1→48.3	1.93	12.5	0.435
7	減速	48.3→38.2	-1.93	25	$\frac{15}{CO+CO_2+6HC}$ 0.029

4モードサイクル

項目 番号	速度条件 Km/h	加速減速 Km/h/Sec	継続時間 %	濃度補正 係数	荷重係数
1	アイドル	0	20	$\frac{15}{CO+CO_2}$	0.110
2	加速	0→40	3.5	11.5	0.350
3	定速	40	30	"	0.520
4	減速	40→0	2.1	9.5	$\frac{15}{CO+CO_2+6HC}$ 0.020

定速は±2km/h以下

7モードサイクルではコールドスタートから7回の試行をくり返し、初めの3回のコールドサイクル(ウォームアップサイクル)による濃度と最後の2回のホットサイクル¹⁴⁸⁾による濃度の平均値から次式によって濃度評価値を求める。

$$0.35A + 0.65B = X \dots \dots \dots (3-15)$$

ここで、Aはコールドサイクルの平均で、Bはホットサイクルの平均である。

本測定では、コールドサイクルの測定条件をセットすることが煩雑なことからホットサイクルについてのみの測定した。わが国の4モードサイクルも各速度条件での値に表3-37の濃度補正係数、荷重係数を乗じてサイクル平均濃度を求め、測定はホットサイクルのみと指定されている。¹⁴⁾

3-2-3 テストサイクル

シャシーダイナモメーターで都市の走行状態をシミュレートさせるテストサイクルは、米国で7モード、わが国で4モードが規定されている。それぞれの速度条件と継続時間は表3-37に示した。実際にはレコーダー(チャート速度20cm/min)の指針に、ダイナモメーターの

ローラーの回転速度から試験車の速度変化を同調させ、チャート紙上にあらかじめ画いたテストサイクルの線に指針が沿うように、運転者がアクセルとブレーキペダルを操作して運転する方法で行なわれ、本測定もこれにしたがった。4モードサイクルは、指定された運転時間をストップウォッチで測定して規制した。¹⁴⁾加速時のトランスミッションシフトも指定速度範囲¹⁴⁾となるようにした。

3-2-4 実 験 車

実験車は本章第2節で測定したプリンススカイライン、1500ccで、1961年型車2台、(約7万Km走行車および17万Km走行車)、1964年型車1台(約2万Km走行車)、ならびに1967年型車(約500Km 走行車、新車)で、エンジン性能および諸元は前節に述べたとおりである。

3-3 測定成績ならびに考察

3-3-1 7モードサイクルテスト

実験車の既走行距離の異なる4台を用い、7モードサイクルによるシャーシーダイナモテストで測定した成績は表3-38に示す。表にはホットサイクルの平均値を各速度条件について示す。新車（約500km走行）での合計はCO 3.05%，

表3-38 走行距離数の異なる実験車の測定
(ホットサイクル，平均値)

モード	速度条件 mph	新車 約500km		約2万km車		約7万km車		約17万km車	
		CO %	H-C ppm	CO %	H-C ppm	CO %	H-C ppm	CO %	H-C ppm
1 アイドル	0	0.20	20	0.30	24	0.39	35	0.37	41
2 加速	0→25	0.76	115	1.12	134	1.17	168	1.37	181
3 定速	30	0.13	25	0.14	42	0.37	42	0.58	56
4 減速	30→15	0.17	143	0.17	155	0.21	260	0.32	310
5 定速	15	0.17	19	0.10	21	0.19	31	0.28	25
6 加速	15→30	1.48	141	1.55	146	2.14	246	2.23	264
7 減速	50→20	0.12	128	0.13	145	0.23	244	0.24	255
合計		3.05	591	3.52	667	4.68	1026	5.39	1132

n-hexane 591ppm を示す。

米国では、自動車のエンジン容積（気筒容積）を区別して、排出基準値を定め⁷⁾ 米国内でもっとも分布の広い140 cu·in (2187.5cc)以上の大型自動車はCO 1.5%，n-hexane 275 ppm が許容値とされている。実験車（排気量1488cc）が相当するエンジン容積50～100 cu·in (781～1562cc)については、CO 2.3%，n-hexane 410 ppm が基準値で、本実験車（プリンス）の新車ではCOが約3.3%，n-hexane が約4.4%この基準値を超過している。

一方、わが国の排出規制では、二輪自動車以外のガソリンを燃料とする普通自動車、および小型自動車を対象とし、排出基準値はCO 3.0%のみとされ、実験車の新車はCOが3.05%で、基準値をわずかに越えるにすぎない。約2万km車のCOは3.52%、約7万km車は4.68%、約17万km車は5.39%といずれも米国の規制値はもちろんわが国の規制値をも大きく越える。また、前述のロードテストでみとめられたように、COは走行距離が増すにつれて高くなる。n-hexane も走行距離の増大につれて増加し、約2万km車667 ppm、約7万km車1026 ppm、約17万km車1132 ppmと大巾に増大する。COおよびn-hexane のサイクル平均値（ホットサイクル）と既走行距離との関係は図3-44のとおりで、走行距離による増大傾向は、n-hexane がCOよりも顕著である。約2万km車は新車にたいしてCO 1.3%，n-hexane 15%の増加を示し、約7万km車はCO約5.3%，n-hexane 約7.4%、約17万km車はCO約7.7%，n-hexane 約9.2%と2倍近くとなる。このような傾向は、前述のロードテストでも顕著にみとめられ、Sweeny¹⁰⁴⁾が述べている走行距離による増加傾向ともほぼ同様である。NDIRでのCOの増加傾向は前節でのGLCによる場合とはほぼ同様であるが、炭化水素の増加傾向はGLCの場合がかなり大である。このような違いはNDIRでは検知能が極端に低いオレフィン成分など¹⁵⁾の影響によるものである。

3-3-2 4モードサイクルテスト

わが国の4モードサイクルによる排気評価について、小早川⁸⁾は米国の7モードサイクルとは大差がないが、平均値としてはやや低目に出ると述べ、副島ら¹⁴⁸⁾は、4モードサイクルは炭化水素が7モードサイクルよりもやや低いが大差は

図3-44

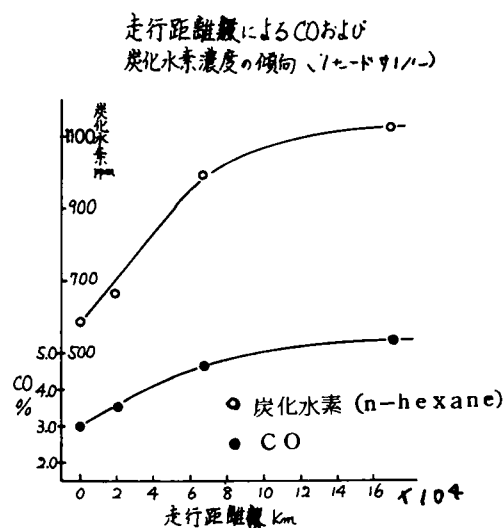


表3-39

4モードサイクルによる測定成績
ホットロッドの平均

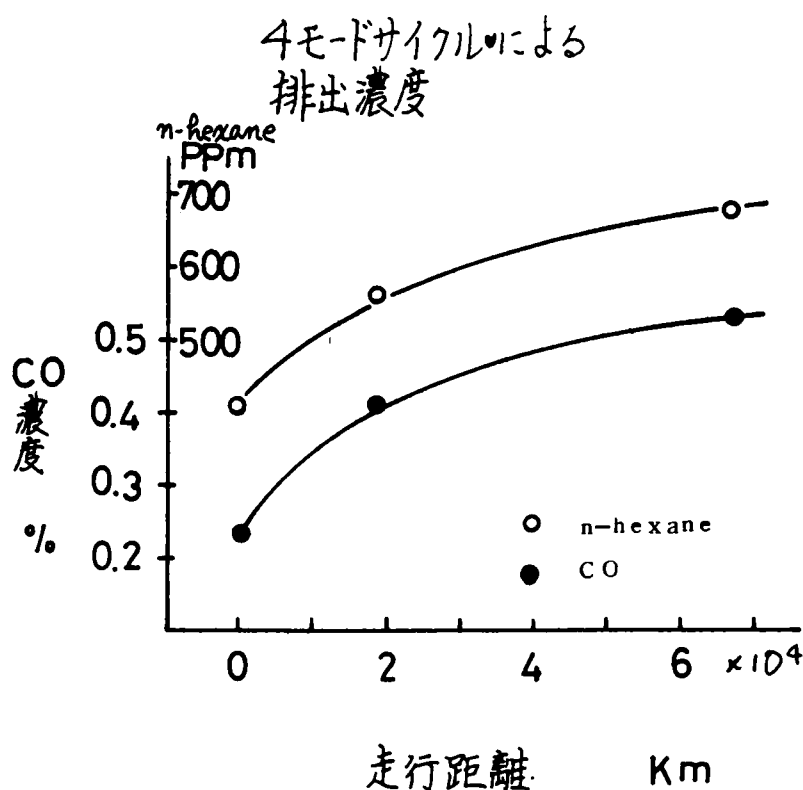
順序	モード	項目	速度条件 km/h	新車		中古車			
				500 km走行 CO %	500 km走行 n-hexane ppm	約2万km走行 CO %	約2万km走行 n-hexane ppm	約7万km走行 CO %	約7万km走行 n-hexane ppm
1	アイドル		0	0.52	47	0.54	90	0.93	93
2	加速		0→40	0.95	175	1.93	189	2.43	265
3	定速		40	0.83	135	1.25	224	1.82	244
4	減速		40→0	0.05	54	0.08	60	0.13	82
合 計				2.35	411	4.10	563	5.31	684

ないと述べている。わが国の4モードサイクルはホットサイクルでの測定で、実験車の新車・約2万km車および約7万km車について測定した成績を表3-39に示す。COおよびn-hexaneのサイクル平均値を既走行距離にたいして図3-45に示す。サイクル平均値は新車で、CO 2.35%、n-hexaneが411 ppmで、ともに7モードサイクルにくらべてかなり小さい。また、新車のCOはわが国の排出基準(3%)よりもかなり小さく、排気処理を考慮する必要はない。約2万km車および約7万km車のCOはいずれも7モードサイクル値より大きく、n-hexaneはかなり小さい。実験車の走行距離が増すにつれてCOおよびn-hexaneはともに大きく増加し、約2万km車は新車にたいしてCO 7.45%、n-hexane 37.0%、約7万km車はCO約2.3倍、n-hexane 66.4%の増加を示し、7モードサイクルにくらべて両成分とも増加傾向が大である。4モードサイクルと7モードサイクルの測定値の違いは、それぞれの運転条件にたいする荷重係数(評価係数)の相違に原因する¹⁴⁸⁾¹⁵⁰⁾ことは当然である。しかし、これらのテストサイクルの係数の決定過程についての基礎資料は明らかでない。本研究(第5章)ではこの点についても検討した。

シャーシーダイナモテストは試験車の駆動輪を鉄製ローラーに乗せて、規定された走行サイクルを再現するわけであるが、ローラー表面の抵抗は実際の都市街路の表面抵抗および道路状態とは著しく異なる。また、自動車の走行速度の変化に対応した風圧抵抗の変化までをシミュレートす

ることはできず、実際の都市走行の状態とはかなり異なった状態である。さらに、本実験での実際の操作において、規定走行サイクルを正しく再現するのは非常に困難で、運転者の運転技術の良否が結果に重大な影響をもたらすことが顕著にみとめられた。すなわち、テストサイクルの速度条件は非常に短い指示時間内にアクセルペダルとブレーキペダルの操作で順次に再現するわけであるが、アクセルおよびブレーキペダルの作動変化にたいする試験車の速度変化の応答性が車種はもとより同系車でも車令、整備状態の違いによって大きく異なり、これらのペダル操作のための力の入れ具合や、力を入れるタイミングのわずかな違いで試験車の状態は大きく変化する。これらが測定成績に顕著に影響することがみられた。それゆえ Magas¹⁵⁾が指摘したようにこのようなテストはきわめて不合理な点が多い。これらのことから大気汚染にたいする真の貢献度を評価するためには、実際のロードテストによるバッヂサンプリング方式¹⁵⁾による測定がより有効と考えられる。さらに、本測定で使用したNDIRのサンプリングプローブの試料吸入速度は16~20 l/minで、減速時には排気ガスの排出量がこれを下廻り、外気の吸引が生じることも少なくなく、排気中の水分の除去槽(0~4℃)の能力が不十分であることなど問題点が多い。

しかしながら、ロードテストにおいても走行路線、測定計器、運転者などによる影響も大きく、測定に比較的長時間を要するなどの欠点があるため、実際に都市を走行している多数の自動車の全てについてロードテストを実施することはきわめて困難である。このようなことから、排気ガス防止の効果を少しでも上げようとする行政的見地からみれば現行のシャーシ



ーダイナモテスト法も無益ではなく、この場合には実際の都市走行を代表したより妥当なテストサイクルの選定、ならびに大気汚染にもっとも関与するオレフィンにたいする評価を盛り込むことによってその価値は増進する。

3-4 総 括

本節では、米国およびわが国で自動車排気の試験法に採用されているシャーシーダイナモテストを行なったすなわち、7モードおよび4モードのホットサイクルについて測定した。その結果を要約するとつぎのとおりである。

1) 実験車（プリンススカイライン1,500cc, 1967年型）の既走行距離約500Km（新車）は7モードサイクルによる測定で、CO 3.05%で、n-hexane 591ppmを示し、ともに本実験車が相当する排気量に示されている米国の排出規制値をこえる。しかし、COについてのわが国の規制値（3.0%）とはほとんど同じである。

2) 7モードサイクルによる既走行距離とCOおよびn-hexaneの関係は、走行距離の増加につれてともに大きく増大し、約2万Km車は新車にたいして約13~15%、約7万Km車は約53~74%の増加を示し、約17万Km車はほぼ2倍となる。

3) 4モードサイクルと7モードサイクルによる測定値には顕著な関係はなく、4モードサイクルによる新車のCOは2.35%、n-hexaneは411ppmで、わが国の規制値（CO、3.0%）よりかなり低い。4モードサイクルによる測定では、走行距離と濃度の増大が7モードサイクルより顕著で、約7万Km車は新車にたいしてCO約2.3倍、n-hexane約66%の増大を示す。

また、シャーシーダイナモテストは実際の操作上に不都合な点が少なくなく、排気が真に大気汚染に示す貢献度を判定し、もっとも効果的な対策を実施するための基礎資料には実際のロードテストによる測定が必要である。しかし、ロードテストの広範囲の実施は容易でなく、汚染の防止効果を少しでも推進しようとする行政的見地からは、シャーシーダイナモテストによる評価もテストサイクル、測定機器などの配慮が十分であればその価値は少なくない。

第4節 結 論

自動車排気による大気汚染の評価、予測ならびに有効な対策には、都市における自動車の運転条件と排気成分の関係について十分な資料が必要である。米国では、排気による汚染現象の発生から多くの研究がなされCOを人体に有害な成分、n-hexaneをスモッグ成分の指標として評価検討された。さらに、光化学反応成分とn-hexaneが常に正比例すると仮定して、排気制御のための試験法、排出基準値、テストサイクルなどの規定が設けられた。一方、わが国でも自動車排気による大気汚染と米国の排出規制で自動車輸出が制約されるために排出規制が実施された。しかし、わが国の自動車は気筒容積(1,000~1,500cc)が米国のそれ(約3,500~4,000cc)とは異なり、都市の走行様式が大きく異なる。それゆえシャーシダイナモテストによる評価が実際の都市走行での排出状況と異なるためにわが国の実状に適した規制がのぞまれている。本章ではわが国の自動車排気による大気汚染の評価と有効な対策実施のための基礎資料を与えることを目的として実験を行なった。すなわち、都市街路で運転条件を系統的に規制したロードテストを行なうとともに、従来の研究成果について考察した。

本章第1節では、主として米国で行われた従来の研究を略述した。すなわち、自動車からの汚染物の排出量、排気中に含まれる成分、およびそれらの濃度、燃料組成による排気の変化、ジーゼルエンジンの排気成分と排出量、クランクケースからの汚染物、燃料の蒸発損失、エンジンの諸要因による排気組成の変化などについて略述した。

第2節では、国産自動車4台(プリンススカイライン、1,500cc、1961年型2台、1964年型1台、1967年型車1台)について測定した。わが国の都市で比較的多く、大気汚染への影響も大きい中古車について測定し、ついで既走行距離による差異を検討した。平坦な舗装道路上で運転条件を系統的に制御し、無機ガス成分および炭化水素を測定し、燃料消費、排気ガス量、排気温度、気液率、出力などのエンジン要素についても検討した。アイドル時の燃料消費率、COおよび炭化水素濃度はエンジンの回転数600rpmから減少して、2,500~3,000rpmでもっとも小さく、その後はやや増大する。CO₂濃度はこれと反対で、排気ガス量および排気温度は回転数とともに急増を示す。

都市走行の一時停止に相当するアイドル時(600rpm)はCO濃度、6.5%、炭化水素濃度、約5.100ppmで、炭化水素の約60%をパラフィン、約23%をオレフィン、約15%をアセチレンが占める。また、排出重量はCO約1,760g/h、炭化水素は約206g/hで、供給燃料の約13%が排出される。すなわち、アイドル時は燃焼効率が非常に低く、多量の未燃焼成分が排出される。

定速時(10~80km/h)のCOおよび炭化水素、燃料消費率は運転条件で大きく異なり、トランスミッションのシフトにつれて減少する傾向を示す。第四速車速50km/hで燃料消費率(約223g/ps·h)がもっとも小さく、燃料1ℓあたりの走行距離(7.5km/ℓ)も最大を示す。第四速でのCOと炭化水素濃度は車速が増加につれて減少し、50~60km/hでもっとも小さく(CO3.1%、炭化水素約900ppm)、さらに高い車速では増加する。燃料消費率もほぼ同様で、CO₂濃度は正反対を示す。定速時の炭化水素はパラフィンが約73%、オレフィンが約14%、アセチレンが約11%を占め、排出ガス量および排気温度は車速とともに増す。第四速でのCOと炭化水素の排出量は車速30~50km/hではほぼ同程度で、60km/hをこえると急増する。都市走行でもっとも多く現れる40km/h定速ではCO約1,650g/h(濃度38%)、炭化水素の排出重量比は車速の増大につれて減少する。(40km/hでは2.84wt%)

初期速度0~50km/hから10~60km/hを終末速度とする加速条件では運転条件で排気組成、燃料消費率が大きく異なる。本測定の加速条件で、濃度はCO2.9~8.0%、炭化水素約1,800~5,200ppmで、炭化水素はパラフィンが約64%、オレフィンが約22%、アセチレンが約13%を占める。排出重量はCO約1,500~4,600g/h、炭化水素約200~620g/hで、炭化水素の排出重量比は初期速度の増大につれて減少する。実際の都市走行でもっとも多く現れる発進加速時には、COおよび炭化水素濃度が非常に大きく、排出重量はCO約1,900~2,400g/h、(濃度3.9~

5.3%) 炭化水素約250~360 g/h (約2,700~5,200 ppm) を示す。初期速度20~60 Km/h から0~40 Km/h を終末速度とし、実際の都市走行での時間に制御した減速時の燃料消費率(約13~54 g/ps·h)は他の運転条件より非常に小さく、マニホールドバキウム(55~62 mmHg)はきわめて高い。CO濃度は6.2~7.9%で、減速条件による明らかな傾向はない。炭化水素は約2,800~8,200 p.p.m.を示した。炭化水素の約60%をパラフィン、約24%をオレフィン、約14%をアセチレンが占め、排出重量はCO約240~940 g/h、炭化水素約31~70 g/hで、速度条件による顕著な傾向はない。実際の都市走行で多く現れる車速10~40 Km/h から走行停止に至る減速時の排出量はCO約390~680 g/h (約6~8%)、炭化水素約31~61 g/h (約3,600~8,200 ppm)を示す。

さらに、自動車の走行距離の増大、すなわち、エンジンの疲労度の増大による排気への影響について検討した。新車および約1万9千Km車のエンジンの出力はほぼ定格値で、約6万7千Km車では約11%、約17万Km車では約29%の出力低下を示し、燃料消費率は反対に既走行距離が増すにつれて増大する。アイドル時(600 rpm)でのCO濃度は新車の値(36%)にたいして、約1万9千Km車約17%、約6万7千Km車約47%、約17万Km車約81%とエンジンの老化につれて増加し、炭化水素濃度も新車(約1760 ppm)にたいして約1万9千Km車約24%、約17万Km車約2.9倍と、エンジンの老化による増加が著しい。炭化水素のなかでC₄~C₆オレフィンの占める割合は走行距離とともに増大し、エンジンの老化から燃焼に利用されない燃料成分の排出が増大する。

第3節では、米国およびわが国で排出規制に採用されたシャーシーダイナモテストによって測定した。米国の7モードサイクルによる測定で、新車(プリンススカイライン、1,500cc、1967年型)はCO 3.05%、n-hexane 591 ppmで、米国の排出規制値(エンジンの容積781~1,562cc; CO 2.3%, n-hexane 410 ppm)をこえるが、わが国の規制値(CO 3.0%)と同程度である。また、7モードサイクルで既走行距離による差異を検討した。既走行距離が増すにつれてCOとn-hexaneは増加し、約1万9千Km車の値は新車にくらべて約13~15%、約6万7千Km車は約53~74%、約17万Km車はほぼ2倍と著しく増大する。わが国の4モードサイクルと米国の7モードサイクルの成績には、速度条件および加重係数が異なるから明らかな関係がない。4モードサイクルで新車はCO 2.35%、n-hexane 411 ppmで、わが国の規制値よりもかなり小さい。4モードサイクルで既走行距離によるCO、n-hexane値の変化は7モードサイクルによる場合よりも距離による濃度の上昇傾向が顕著である。

本章で、自動車の運転条件を系統的に制御して行なったロードテストおよび排出規制に採用されているシャーシーダイナモテストの結果から、都市走行時にはかなり高濃度のCO、炭化水素が不完全燃焼成分として大気中に排出され、それらの排出状況は運転条件、エンジンの疲労度によって大きく異なることがみとめられた。また、わが国および米国では行政的見地からシャーシーダイナモテストで測ったCOとn-hexaneの規制が実施されているが、方法が容易なことから、排出状況の概略を比較するためには有利である。しかし、第2節で述べたように、排気の炭化水素構成は運転条件で大きく変化し、n-hexane値が全炭化水素と比例しないから、大気汚染防止のための排気ガス評価はスモッグポテンシャルの高いオレフィンなどについての今後の研究がのぞまれる。

さらに、シャーシーダイナモテストでは用いるテストサイクルによって測定値がかなり異なることから、わが国の都市走行の実状に適したサイクルを適用する必要があり、この点については第五章で述べる。

参 考 文 献

- 1) Graber, R. C., ; Atmospheric Pollution, The Problem an Over-All View, Arch. Environ.Health, 1, 68 -74, 1960
- 2) Blacet, F.E.. ; Photo Chemistry in The Lower Atmosphere, Ind. Eng. Chem., 44(6), 1339-1388, 1952
- 3) Griswold, S.S. ; Technical Progress Report, I, Control of Stationary Sources, P179, Air Pollution Control District, County of Los Angeles, 1960
- 4) Department of Public Health , State of California ; Standards for Ambient Air Quality and Motor Vehicle Exhaust, Adopted by The California State Board of Public Health, P11, Friday, December 4, 1959
- 5) Maga, J. A., Chass, G. C.; The Development of Motor Exhaust Emission, Standard in California, J, Air Poll. Cont. Assoc., 10(5), 393-396, 1960
- 6) McCabe, L. C.; Problems Arising form Air Pollution, Engineering Progress at The University of Florida, X(9), 5-87, 1956
- 7) Department of Health, Education, and Welfare; Federal Register, Control of Air Pollution from New Motor Vehicles and New Motor Vehicle Engines, vol.31, NO.61, Part II, P.5170-5178, Washington D. C., March, 30, 1966
- 8) 小早川隆; 自動車用エンジンの燃焼と排気Ⅱ, 内燃機関・5(53), 57-62, 1966
- 9) 景山久; 自動車排気ガスによる大気汚染の防止に関する法規制, 公害と対策, 2(2), 1-7, 1966
- 10) 北川徹三; 自動車排気ガスによる大気汚染の防止対策, 公害と対策, 2(11), 741-749, 1966
- 11) 大平俊男; 環境からみた大都市における自動車排気ガスについて, 東京都の場合, 公害と対策, 2(2), 109-117, 1966
- 12) 大阪市総合計画局公害対策部; 環境からみた大都市における自動車排気ガスについて, 大阪市の場合, 公害と対策, 2(2), 119-128, 1966
- 13) Hass, G. C.,; Brubacher, M. L.; A Test Procedure for Motor Vehicle Exhaust Emission, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(11), 505-509, 1962
- 14) 日本工業規格, J I S D 1 0 3 0 ; 自動車排気ガス中の一酸化炭素, 二酸化炭素および炭化水素濃度の連続測定法, 1967
- 15) Maga. J. A., Kinoshian. J. R. ; Motor Vehicle Emission Standards, Present and Future, SAE, 660104, P10, Automotive Engineering Congress, Detroit, Mishigan, Jan., 1966
- 16) Faith, W. L., 内藤幸穂訳; 大気汚染と公害防止, P 2 2 2 , 技報堂・東京, 1965
- 17) 山本峰雄・近藤政市・平尾収・亘理厚; 自動車ハンドブック, P 8 7 3 , 朝倉・東京, 1966
- 18) 日刊自動車新聞社, 日本自動車会議所; 自動車年鑑, 昭和42年版, P 4 3 2 , 日刊自動車新聞社, 東京, 1967
- 19) Magill, P. L., Benolid. R. W.,; Air Pollution in Los Angeles County, Contribution of Combustion Products, Ind. Eng. Chem., 44(6), 1347-1351, 1952
- 20) Haagen-Smit, A. J.,; Chemistry and Physiology of Los Angeles Smog, Ind. Eng. Chem., 44(6), 1342-1347, 1952

- 21) Leslie, A.; National Conference on Air Pollution, Public Health. Rept., 74(5), 416-417, 1959
- 22) Linville, W., Holms, R. G., Kanter, C. V.; Evaluation of Methods for Controlling Vehicular Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(1), 21-28, 1960
- 23) Chass, R. L., Tow, P.S., Lunche, R. G., Shaffer, N. R.; Total Air Pollution Emissions in Los Angeles County, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(5), 351-366, 1960
- 24) Rose, A. H., Smith, R. ; A Direct Measurement Technique for Automobile Exhaust, Arch. Environ. Health, 5, 609-615, 1962
- 25) Jensen, D. A., Sources and Kind of Contaminants from Motor Vehicles, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(8), 327-328, 1964
- 26) Colucci, J. M., Begeman, C. R. ; The Automotive Contribution to Air-Borne Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in Detroit, J. Air Poll. Cont. Assoc., 15(3), 113-122, 1965
- 27) Rose, A. H. Jr., Smith, R., McMichael, W. F., Kruse, R. E. ; Comparison of Auto Exhaust Emissions in Two Major Cities, J. Air Poll. Cont. Assoc., 15(8), 362-366, 1965
- 28) Hovey, H. H., Risman, A., Cunnam, J. F.; The Development of Air Contaminant Emission Tables for Nonprocess Emissions, J. Air Poll. Cont. Assoc., 16(7), 362-366, 1966
- 29) McMichael, W. F., Sigsby, J. E. Jr.; Automotive Emissions after Hot and Cold Starts in Summer and Winter, J. Air Poll. Cont. Assoc., 16(9), 474-477, 1966
- 30) McHugh, E. W.; The Effect of Rapid Transit on San Francisco Bay Air Quality, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(5), 277-279, 1967
- 31) Sheperd, M., Rock, S. M., Howard, R., Stormes, J.; Isolation, Identification and Estimation of Gaseous Pollutants of Air, Examination of Los Angeles County, Calif. Smog., Anal. Chem., 23(10), 1431-1440, 1951
- 32) Weller, E. F.; Acoustic Apparatus for Determination of Mixture Ratio by Analysis of Engine Exhaust Gas, Anal. Chem., 26(3), 488-491, 1954
- 33) West, P. W., Sen. B., Gibson, N. A.; Gas Chromatographic Analysis, Applied to Air Pollution, Sampling, Anal. Chem., 30(8), 1390-1397, 1958
- 34) Goldsmith, J. R., Rogers, L. H.; Health Hazards of Automobile Exhaust, Public Health Rept., 74(6), 551-558, 1957
- 35) Eggertsen, F. T., Nelsen, F. M.; Gas Chromatographic Analysis of Engine Exhaust and Atmosphere, Determination of C₂ to C₅ Hydrocarbons, Anal. Chem., 30(6), 1040-1043, 1958
- 36) Parsons, J. L., Neerman, J. C., Lifnitz, J. R., Bryan, F. R.; Determination of Carbon Dioxide in Automotive Exhaust by Means of Infrared Filter Photometer, Anal. Chem., 30(6), 1055-1057, 1958

- 37) Coulson, D. M.; Hydrocarbon Compound-Type Analysis of Automobile Exhaust Gas by Mass Spectrometry, *Anal. Chem.*, 31(5), 906-910, 1959
- 38) Heaton, W. B., Wentworth, J. T.,; Exhaust Gas Analysis by Gas Chromatography, Combined with Infrared Detection, *Anal. Chem.*, 31(3), 349-357, 1957
- 39) Hurn, R. W.,; Comprehensive Analysis of Automotive Exhausts, *Arch. Environ. Health*, 5, 592-596, 1952
- 40) Chipman, J. C., Massey, M. T.,; Proportional Sampling System for the Collection of An Integrated Auto Exhaust Gas Sample, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 10(1), 60-69, 1960
- 41) Chapman, R. L.,; An Inspection Method for Automobile Hydrocarbon Emission, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 10(6), 463-464, 1960
- 42) Robinson, I. C. H.,; Hydrocarbon Detector, Rapid Response Instrument of Monitoring The Emission in Engine Exhaust gas, *Aut. Eng.*, 6, 55-58, 1965
- 43) Feinland, R., Andreath, A. J., Cotrupe, D. P.,; Automotive Exhaust Gas Analysis by Gas Liquid Chromatography, Using Flame Ionization Detection, Determination C₁ to C₈ Hydrocarbons, *Anal. Chem.*, 33(8), 991-994, 1961
- 44) Smith, A. M., Struck, J. H.,; A Simplified Method for Characterizing Motor Vehicle Exhaust Emissions, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 11(5), 251-253, 1961
- 45) Mader, P. P., Schoeneman, K., Eye, M.,; Determination of Nonaromatic Unsaturates in Automobile Exhaust by Spectrophotometric Titration, *Anal. Chem.*, 33(6), 733-736, 1961
- 46) Altshuller, A. P., Clemons, C. A.,; Gas Chromatographic Analysis of Aromatic Hydrocarbons at Atmospheric Concentrations, Using Flame Ionization Detection, *Anal. Chem.*, 34(4), 466-472, 1962
- 47) Neligan, R. E.,; Hydrocarbons in Los Angeles Atmosphere, *Arch. Environ. Health*, 5, 581-591, 1962
- 48) King, W. J., Wilson, K., Swartz, D. J.,; Analysis of Automobile Exhaust Gas, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 12(1), 5-21, 1962
- 49) Hughes, K. J., Hurn, R. W., Edwards, F. G.,; Separation and Identification of Oxygenated Hydrocarbons in Combustion Products from Automobile Engine, cited from Noebels, H. J.,; *Gas Chromatography*, P463, 171-182, Academic Press, New York, 1959
- 50) Rose, A. H.,; Automotive Exhaust Emissions, Cited from Stern, A. C.,; *Air Pollution*, II, P580, 40-60, Academic Press, New York, 1962
- 51) Barber, E.D., Lodge, J. P. Jr.,; Paper Chromatographic Identification of Carbonyl Compounds as Their 2,4-Dinitrophenyl Hydrazones in Automobile Exhaust, *Anal. Chem.*, 35(3), 348-350, 1963
- 52) Jones, J. L., Schuck, E. A., Eldridge, R. W., Endow, N., Cranz, F. W.,; Measurement of Automotive Exhaust Gas, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 13(2), 73-73, 1963

- 53) Hoffman, D., Wynder, E.,; Studies on Gasoline Engine Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(7), 322-327, 1963
- 54) Houser, E. A., Chapman, R. L. ; Effect of Sampling System Temperature in Auto Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(11), 535-537, 1963
- 55) Barber, E. D., Sawicki, E., McPherson, S. P. ; Separation and Identification of Phenols in Automobile Exhaust by Paper and Gas Liquid Chromatography, Anal. Chem., 36(13), 2442-2445, 1964
- 56) Sigsby, J. E. Jr., Korth, M. W. ; Composition of Blow by Emission, APCA Annual Meeting, P64-72, Houston, Texas, June, 1964
- 57) Sweeney, M. P., Swartz, D. J., Rost, G. A., Macphoe, R., Chass, J. ; Continuous Measurement of Oxide of Nitrogen in Auto Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(7), 249-254, 1964
- 58) Ellis, C. F., Kendall, R. F., Eccleston, B. H.,; Identification of Some Oxygenates in Automobile Exhaust by Combined Gas Liquid Chromatography and Infrared Techniques, Anal. Chem., 37(4), 511-516, 1965
- 59) McMichael, W. F., Rose, A. H.,; A Comparison of Auto motive Emission in Cities at Low and High Altitudes, Air Pollution Control Association, Annual Meeting, 65-22, P9, Toronto, Canada, June, 1965
- 60) Fleming, R. D., Dimitriades, B., Hurn, R. W.,; Procedures in Sampling and Handling Auto Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 15(8), 370-371, 1965
- 61) Caplan, J. D. ; Smog Chemistry Points The Way to Rational Vehicle Emission Control, SAE paper, 650641, 197-208, 1965
- 62) McReynolds, L. A., Alquist, H. E., Wimmer, D. B.,; Hydrocarbon Emissions and Reactivity as Functions of Fuel and Engine Variable, SAE, paper, 650525, 902-911, 1965
- 63) McEwen, D. J.,; Automotive Exhaust Hydrocarbon Analysis by Gas Chromatography, Anal. Chem., 38(8), 1047-1053, 1966
- 64) Chass, J. D.,; Determination of Hydrogen in Exhaust Gas, P10, Fuel Combustion Research Projects, Bartlesville Petroleum Research Center, Bureau of Mine, May, 1966
- 65) Chass, J. D.,; A GLC Procedure for Hydrocarbons in Exhaust Gas, P9, Fuel Combustion Projects, Bartlesville Petroleum Research Center, Bureau of Mine, May, 1966
- 66) Jackson, M. W. ; Analysis for Exhaust Gas Hydrocarbons-Nondispersive Infrared versus Flame Ionization, J. Air Poll. Cont. Assoc., 16(12), 697-702, 1966
- 67) Stephens, E. R., Burleson, F. R. ; Analysis of the Atmosphere for Light Hydrocarbons, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(3), 147-153, 1967

- 68) Spindt, R. S.; Computer Analysis of California Cycle, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(3) 166-167, 1967
- 69) Dimitriadis, B.; Determination of Nitrogen Oxides in Auto Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(4), 238-243, 1967
- 70) Mader, P. P., Gliksmann, J., Eye, M., Chambers, L. A. ; Photochemical Formation of Air Contaminants from Automobile Exhaust Vapours, Ind. Eng. Chem., 50(8), 1173-1174, 1958
- 71) Hughs, K. J., Hurn, R. W. ; A Preliminary Survey of Hydrocarbon-Derived Oxygenated Material in Automobile Exhaust Gas, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(5), 367-371, 1960
- 72) Neligan, R. J., Mader, P. P., Chambers, L. A. ; Exhaust Composition in Relation to Fuel Composition, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(4), 179-186, 1961
- 73) Pymond, L. ; Particulate or Photochemical its still Smog, SAE Journal, 72(8), 48-54, 1964
- 74) Swartz, D. J., Wilson, K. W., King, W. J. ; Merits of Liquefied Petroleum Gas Fuel for Automotive Air Pollution Abatement, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(4), 154-159, 1963
- 75) Adams, W. F. ; Propane versus Gasoline, Effects on Engine Performance and Economy, SAE, Journal, 73(11), 90-92, 1965
- 76) Mukai, M., Thomas, J. E., Tebbens, B. D. ; Aromatic Hydrocarbons Produced during Combustion of Simple Aliphatic Fuels, Anal. Chem., 37(3), 398-403, 1965
- 77) 平野勲司; 質量分析計によるプロパンを燃料とした自動車エンジン排気ガスの分析, 工業化学雑誌, 68(8), 1617-1618, 1965
- 78) Elliott, M. A., Nebel, G. J., Rounds, F. G. ; The Composition of Exhaust from Diesel, Gasoline, and Propane Powered Motor Coaches, J. Air Poll. Cont. Assoc., 5(2), 103-108, 1955
- 79) London, A. L. ; Vehicle Smog Emissions, Arch. Environ. Health , 6, 672-677, 1963
- 80) Harkins, J., Goodwine, J. K. ; Oxides of Nitrogen in Diesel Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(1), 34-38, 1964
- 81) McKee, H. C., Clark, J. M., Wheeler, R. J. ; Measurement of Diesel Engine Emission, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(11), 516-523, 1962
- 82) Linnel, R. H., Scott, W. E. ; Diesel Exhaust Composition and Odor Studies, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(11), 510-515, 1962
- 83) Linnel, R. H., Scott, W. E. ; Diesel Exhaust Analysis, Arch. Environ. Health , 5, 616-625, 1962
- 84) Battigelli, M. C. ; Effects of Diesel Exhaust, Arch. Environ. Health , 10, 165-167, 1965

- 85) Irish, G. E., Mattson, R. W. ; Fuel is Key to Diesel Smoking, SAE Journal, 73(1), 82-84, 1965
- 86) 東考行; デーゼル機関の排気問題, 内燃機関, 2 (11), 35~38, 1963
- 87) 小早川隆; ガソリン, デーゼル, LPG エンジンの排気ガス, 内燃機関, 4 (33), 41-47, 1965
- 88) 柳原茂; エンジンの構造および走行条件からみた自動車排気, ガスの諸問題, 公害と対策, 2 (4), 9-14, 1966
- 89) 橋爪信彦, 辻村欽司; デーゼル機関の排気濃度, 内燃機関, 4 (33), 29-34, 1965
- 90) Richards, K. M.; Control Devices, Arch, Environ. Health, 2, 92-94, 1961
- 91) Rose, A. H. Jr., Stahman, R. C.; The Role of Engine Blowby in Air Pollution, Pl3, Air Pollution Control Association, Annual Meeting, 60-21, Cincinnati, Ohio, May, 1960
- 92) Hartley, F. L., Moore, C. C., Gregory, J. B.; The Smogless Automobile, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(2), 143-146, 1960
- 93) Bennett, P. A., Jackson, M. W., Murphy, C. K., Randall, R. A. ; Crankcase Gas Causes 40% of Auto Air Pollution, SAE Journal, March, 30-36, 1960
- 94) Rose, A. H. Jr., Stahman, R. C.; The Role of Engine Blowby in Air Pollution, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(3), 114-117, 1961
- 95) McKee, H. C., Mills, K. D.; A Comparison of Various Sources of Automotive Emissions, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(11), 516-522, 1961
- 96) Clarkson, D., Middleton, J. T.; The California Control Program for Motor Vehicle Created Air Pollution, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(1), 22-28, 1962
- 97) Jensen, D. A., Grant, E. P.; Status of Control of Motor Vehicle Emissions in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(12), 483-486, 1964
- 98) Hurn, R. W., Fleming, R. D.; Lean Mixture Operation A New Factor in Exhaust Composition, SAE paper 650640, P3, International West Coast Meeting, Vancouver, B. C., August, 1965
- 99) Spindt, R. S.; Air Fuel Ratios from Exhaust Gas Analysis, SAE paper, 650507, 788-793, 1965
- 100) Lawrence, R. III., Elsevier, E., Ripperton, L. A.; The Effect of Operating Variables on Automotive Hydrocarbons Emission, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(4), 126-129, 1964
- 101) Marvin, W. J.; Analysis for Exhaust Gas Hydrocarbons-Nondispersive Infrared versus Flame Ionization, J. Air Poll. Cont. Assoc., 16(12), 697-702, 1966
- 102) Chass, G. C., Bonamassa, F., Newmark, P., Kayne, N.; The Influence of Vehicle Operating Variables on Exhaust Emissions, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(6), 384-387, 1967

- 103) Stahman, R. C., Rose, A. H. Jr.; Emissions from Carbureted and Timed Port Fuel Injected Engines, P.34, Air Pollution Control Association, Annual Meeting, 64-74, Houston, Texas, June, 1964
- 104) Sweeney, M. P.; Exhaust Control Devices, J. Air Poll. Cont. Assoc., 15(1), 13-18, 1965
- 105) 小早川隆; 自動車用エンジンの燃焼と排気, 内燃機関, 5(54), 125-131, 1966
- 106) 自動車技術会; 自動車工学ハンドブック, P926, 自動車技術会, 東京, 1965
- 107) 通商産業研究社; 日本の自動車工業, 1966~67年版, P861, 通商産業研究社, 東京, 1967
- 108) 八巻直也; 自動車排気ガスによる大気汚染防止に関する諸問題, 石油学会誌, 8(9), 30-38, 1965
- 109) 大河内一男; 公害, 東京大学公開講座7, P274, 東京大学出版会, 東京, 1966
- 110) Dickinson, J. E.; Technical Progress Report, vol.II, Air Quality of Los Angeles County, P290, Air Pollution Control District, County of Los Angeles, 1961
- 111) Wayne, L. G.; Technical Progress Report, vol. III, The Chemistry of Urban Atmospheres, P208, Air Pollution Control District, County of Los Angeles, 1962
- 112) Stern, A. C.; Air Pollution, Vol. I, P656, Vol. II, P586, Academic Press, New York, 1962
- 113) Altshuller, A.P.; Air Pollution, Anal. Chem., 37(5), 11R-20R, 1965
- 114) Faith, W. L.; Automotive Exhaust Control Problems, Arch. Environ. Health, 2(5), 564-567, 1961
- 115) Schweizer, P.H.; 自動車の大気汚染に対する米国の立法処置, 内燃機関, 4(36), 62-64, 1964
- 116) 多田治; 自動車排気と大気汚染, 労働科学, 41(10), 481-492, 1965
- 117) 小林義隆, 阿部竜之, 竹野博, 菅野三郎, 福井昭三, 内藤昭治; 横浜市内の交通路街路上における自動車排気ガスよりの大気汚染, 分析化学, 12(11), 1057-1062, 1963
- 118) 藤井徹; 自動車の排気による都市公害, 内燃機関, 6(57), 57-61, 1967
- 119) 清浦雷作; 世界における自動車排気ガス対策の現状, 公害と対策, 3(6), 1-8, 1967
- 120) Maga, J. A.; California Experience with Air Quality Standards, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(2), 109-111, 1967
- 121) 庄司光, 山本剛夫, 西田耕之助, 中村隆一; 自動車排気ガスによる大気汚染の研究, $C_2 \sim C_6$ 炭化水素の捕集およびガスクロマトグラフ分析, 日本衛生学雑誌, 17(1), 29-30, 1962
- 122) 庄司光, 山本剛夫, 西田耕之助, 中村隆一; 自動車排気ガスによる大気汚染の研究, 水素焰イオン化検出器による自動車排気ならびに都市空気の分析, 日本衛生学雑誌, 18(1), 198, 1963
- 123) 庄司光, 山本剛夫, 西田耕之助, 西森元亮; 自動車排気ガスによる大気汚染の研究, 第18回土木学会年次学術講演会, 概要集, 205-206, 1963
- 124) 庄司光, 山本剛夫, 西田耕之助, 石川義紀, 高田進, 井上香織; 自動車排気による大気汚染の研究, idle 時の $C_1 \sim C_6$ 炭化水素成分ならびに無機ガスについて, 日本衛生学雑誌, 22(1), 151, 1967
- 125) 庄司光, 山本剛夫, 西田耕之助, 石川義紀, 高田進, 井上香織; cruise 時の $C_1 \sim C_6$ 炭化水素成分ならびに無機ガスについて日本衛生学雑誌, 22(1), 151, 1967

- 126) 庄司光・山本剛夫・西田耕之助・石川義紀・高田進・井上香織・；自動車排気による大気汚染の研究・無負荷時のC₁～C₆。炭化水素ならびに無機ガスの測定・日本衛生学雑誌・22(2)・341-353・1967
- 127) プリンス自動車工業株式会社；プリンス自動車整備法・G1G2エンジン編・P320・プリンス自動車工業・東京・1963
- 128) Desty, D. H.; Vapour Phase Chromatography, P436, Butterworths Scientific Publications, London, 1957
- 129) Keulemans, A. I. M.; Gas Chromatography, P234, Peinhold Publishing Co., New York, 1959
- 130) 庄司光・山本剛夫・西田耕之助；自動車排気ガスによる大気汚染の研究・カラムの固定相担体による分解能について・日本衛生学雑誌・19(1)・89・1964
- 131) Nogare, S. D., Juvet, J. S.; Gas-Liquid Chromatography, P450, Interscience Publishers, New York, 1962
- 132) 庄司光・山本剛夫・西田耕之助・尾崎良嗣；ガスクロマトグラフ法によるラッカーシンナーの分析・日本衛生学雑誌・20(6)・14-26・1966
- 133) Morris, R. A., Chapman, R. L.; Flame Ionization Hydrocarbon Analyzer, J. Air Poll. Cont. Assoc, 11(10), 467-469, 1961
- 134) 曾田範宗・熊谷清一郎；内燃機関ハンドブック・P746・養賢堂・東京1964
- 135) 宮田野晴一；内燃機関漏れサイクルに関する研究・機械学会論文集・20(96)・531-537・1953
- 136) 桜井一郎；自動車整備工具・測定機器便覧・P313・山海堂・東京・1962
- 137) 神蔵信雄；高速ガソリンエンジン・I 564・丸善・東京・1960
- 138) 横山武人・玉田圭一；内燃機関・P209・横書店・東京・1960
- 139) 菊地五郎；ガソリン自動車工学・オーム社・P875・東京・1957
- 140) 宮本晃男；ガソリン自動車整備解説・P394柴田書店・東京・1965
- 141) 熊谷清一郎・酒井忠美；内燃機関測定法・P236・養賢堂・東京・1967
- 142) 山手昇；内燃機関の排ガスの測定・分析化学・12(11)・1104-1119・1963
- 143) Ambrose, D., Ambrose, B. A.; Gas Chromatography, P220, Geoge Newnes Limited, London, 1961
- 144) 山岸正謙；自動車排気ガスと大気汚染・機械の研究・15(1)・40-45・1963
- 145) 上坂正雄；自動車工学・P393・技報堂・東京・1955
- 146) 日暮竜夫；内燃機関ガス触媒浄化装置・内燃機関・2(1)・39-45・1963
- 147) Motor Vehicle Pollution Control Board; California Test Procedure and Criteria for Motor Exhaust Emission Control, P96, State of California Motor Vehicle Pollution Control Board, November 16, 1966
- 148) 副島海夫・吉田耕一；自動車排気ガス対策・大気汚染研究・1(1)・13-17・1966
- 149) 金田幸二郎・堀徳年；排気ガス規制について・内燃機関・6(65)・19-25・1967
- 150) 副島海夫・吉田幸一；自動車排気ガスの現状とその減少対策・公害と対策・2(2)・9-16・1966

第 四 章

排気ガス防止装置に関する実験的研究

緒 言

1950年代末期のカリフォルニアでは大気中の炭化水素80%以上、CO 90%、N-oxide 50%以上が自動車に由来すると指摘され¹⁾、排気規制の関心が高まった。1959年には大気の質に関する基準の測定とともに、排気の基準値が定められた²⁾。その後、フローバイガスの規制や排気処理装置の試験法が定められ、排出規制は強化されつつある³⁾。1966年には全米の排出規制が実施され⁴⁾、ヨーロッパの諸国でも検討されている⁵⁾。わが国でも、大気の汚染防止と自動車の対米輸出の両面から、排出規制が1966年から実施された⁶⁾。

自動車の排気組成が車種、運転条件、燃料などで大きく異なり⁷⁾、排気分析が困難なことから、米国では人体に有害な成分としてCOを、光化学スモッグ成分としてn-hexaneを規制対象とした⁸⁾。しかし、光化学反応にもっとも重要な不飽和炭化水素やN-oxideは除外されており、実際の大气汚染防止の点からきわめて不満足な規制と言わざるをえない⁹⁾。一方、排気の未燃成分除去の研究も多く、触媒処理、再燃焼、空気注入など種々の方法が報じられている。しかし、実用的には難点をもつものが多く、有効かつ安価な装置の開発が望まれている¹⁰⁾。排気処理は未燃焼成分の除去と、燃焼効率の向上による不完全燃焼成分の減少とに大別され、多くは前者に属するが、エンジン機能に及ぼす影響、耐久性、製造費ならびに性能保守などの問題点が指摘されている¹¹⁾。

本章では、後者に属するもので、点火栓(スパークプラグ)の点火機能の向上を目的として開発された点火改良装置について検討した。すなわち、混合気を点火爆発させる際に放電スパークのエネルギー特性を改良する装置で、燃焼効率の向上により未燃焼成分を減少させるために大気汚染防止にも有益と考えられる。そこで、実用車にこの装置を付けて効果を測定するとともに、この装置の内部構造による差異について検討した。さらに最近提唱されているアイドル調整法、二次空気注入装置についても検討した。

第1節 排気ガス防止装置に関する従来の研究

1-1 自動車排気にたいする法規制

1-1-1 カリフォルニアの場合

ロスアンゼルススモッグ特有の現象(眼の刺激など)が現れたのは1947年が最初で、同年に大気汚染防止局(APCB)が設置された。¹²⁾ 1953年にはニューヨークでもスモッグが発生し、¹³⁾ 自動車排気の役割が明らかにされた^{14) 15)}。1958年のロスアンゼルスでは、自動車約300万台¹⁶⁾が一日に炭化水素720トン、アルデヒド9トン、CO 6,580トン、N-oxide 250トンを放出する汚染源で¹⁷⁾、都市における「ブラックボックス」とも言われた¹⁸⁾。これらのことから、1960年を規制実現の目標として、多くの調査研究がなされ^{19) ~ 23)}。1959年には環境基準(Ambient Air Quality Standard)が定められた²³⁾。すなわち、光化学スモッグの発生をみなかった1940年のオキシダントの大気レベルが0.15 ppm(1時間値、Potassium iodide法)であるとし、この水準を排気規制の目標レベルとした。また、大気CO濃度も汚染基準が30 ppm(8時間)、または120 ppm(1時間)とされ、オキシダント生成に重要なオレフィン測定が困難なことから、n-hexane値(NDIR法)による排気評価が採用された。この場合には、排気のオレフィンとn-hexaneとは常に正比例すると仮定され²⁴⁾、処理装置の早急な開発が困難なことから、目標達成の期限は1970年とされた。すなわち、1970年の大気状態を1940年当時まで清浄化することを目標として、排気の基準値が定められた。

炭化水素の排出基準の決定は2通りの方法でなされ、1つはRollback法、他はIndicator contaminant法とよばれる。前者は1940年の大気拡散が小さい日のオキシダントレベルが0.15 ppmと仮定し、1940年と1970年での全オレフィン排出量を推測した。そこで、自動車以外からのオレフィンは排出規制からほぼ1940年レベル

で保たれると仮定し、1970年の自動車のオレフィン排出を1940年レベルにするための減少係数は0.77であると算定された。後者では、CO濃度から大気相対希釈能力を測定し、オレフィンの減少係数を求めた。自動車からのオレフィンとCOの排出には一定の比例関係があると仮定し、オキシダントレベルが0.15 P P mである日の大気中CO濃度と、スモッグのはげしい日のCOを比較した。また、実測がCOとオキシダント濃度には直接的関係がみとめられた。この結果、1957年ではオレフィン排出の68%を減少する必要がある、1970年に外挿して必要減少率が81%と算定された。このような方法から、排気オレフィンの減少係数を0.80と決定した²⁴⁾。一方、1956年の測定で炭化水素排出は供給燃料(重量)の5.9% (wt) (n-hexane, FIA 法)とされたが、カリフォルニア基準²³⁾では供給燃料の5% (wt)と仮定された。これはn-hexaneとして1,375 ppmに相当し目標減少係数からつぎのように排出基準を定めた。²⁴⁾

$$(1 - 0.80) \times 1375 = 275 \text{ ppm (n-hexane)}$$

COは30 ppm以上の大気濃度が8時間以上続くことを防ぐために必要な減少率が1957年では33%で、この関係を1970年に外挿すると、減少係数が約0.60であるとされた。標準走行サイクルでの排気のCO濃度3.8%からCOの排出基準値は1.5% (V/V)と決定され、1966年型車で気筒容積140 in³以上に実施された。²⁴⁾

カリフォルニアの排出基準は表4-1のとおりで、運転条件の時間比と排気の排出割合はロスアンゼルスでの調査²⁵⁾にもとずき、排気のN-oxideはオゾン生成に直接的な相関がないとして環境基準に採用されなかったから、排気規制にも鉛化合物、SO₂などとともに除外された。また、ブローバイガスは炭化水素排出に占める割合が小さいとして考慮されなかった。1960年には、自動車汚染管理委員会(MVPCB)が設置され、排気処理装置の取付けや形式認定をした。²⁶⁾ MVPCBでは炭化水素をNDIR、または相当する方法で測定すると定め、クランクケース排出の基準値を供給燃料(重量)の0.15% (wt)と決定した。²⁶⁾ その後の研究で、炭化水素排出は、排気ガス約70%、クランクケース約25%、気化器と燃料タンク約5%とされ、州の排出規制が実際の大气汚染には76%の減少効果しかなく、光化学的汚染の激しいときの効果が72%を下まわると推測され、減少係数を95%にすべきと主張された。²⁶⁾ 大気のオゾンレベルを減少する上でN-oxideの規制が、炭化水素のみの規制効果を上まわるとMiddletonら²⁷⁾が指摘した。さらに、排気炭化水素が800 ppm (n-hexane)で、目標減少係数から規制値は160 ppmになると述べ、植物障害や眼の刺激を生じる反応性炭化水素を中心にした基準の制定と、ジーゼル排気の規制が必要であると主張した。²⁷⁾

表4-1 カリフォルニアの自動車排気の排出基準²³⁾

炭化水素の排出基準: 275 ppm (n-hexane) (0.15% wt)
COの排出基準: 1.5% V/V
炭化水素がCOの濃度を100ppmに引き上げるとは等しい
方法: 1966年基準にCO濃度100ppmに引き上げるとは等しい

速度条件	速度の変化率 mph/sec	時間比	全試験量の割合
アイドル	—	15.0	4.2
定速 mph	—	—	—
20	—	6.9	5.0
30	—	5.7	6.1
40	—	2.7	4.2
50	—	0.7	1.5
加速 mph	—	—	—
0-60	3.0	1.1	5.9
0-25	2.2	10.6	18.5
15-30	1.2	25.0	45.5
減速 mph	—	—	—
50-20	1.2	10.2	2.9
30-15	1.4	11.8	3.3
30-0	2.5	10.3	2.9
		100.0	100.0

1961年には1963年型新車からフランクケースベンチレーションシステムの取付けが規定された。²⁸⁾ 排気測定と防止装置の検定法は1960年に公布され、検定車は保守程度が高く、カリフォルニアでの平均的グループで、COと炭化水素排出がこの地方の自動車範囲のものと定められた。同時に、カリフォルニア基準の運転条件(11モード)に適当な転換モードを挿入し、基準の時間比に近い11モードサイクルが導かれた。さらに、基準の速度条件7種と3種の転換モードからなる7モードサイクルが選ばれ、²⁹⁾ 基準の時間比とは定速と加速が異なるが、重要な意味がないとされた。またロスアンゼルスでの平均走行時間が20分で、走行をはじめてからの数分間、すなわち、エンジンや処理装置の温度が定常になるまでが重要として、コールドスタートとホットスタートの概念が示され、シャーシーダイナモテストが実施上よいとされた。²⁹⁾ このようなテスト法は最終的にMVPCBで1961年に承認され、²⁹⁾ 6回のウォームアップサイクル(7モードサイクル)と1回のホットサイクル(11モードサイクル)で完了する。炭化水素とCOのNDIRによる測定方法も定められたが、サンプリングラインや分析装置の壁面での誤差(ハングアップ)が問題とされた。この方法によるカリフォルニアの自動車の平均値は炭化水素858 ppm (n-hexane)、CO 2.7%で、²⁹⁾ 測定条件を最適にすると測定値の再現性は±10%である。²⁹⁾ さらに、シャーシーダイナモテストとロードテストとの比較から²⁹⁾ 両者にか

り大きな違いがあると指摘された。

カリフォルニアでは、1964年にクランクケース排出防止装置を中古営業車に、1965年から全中古車に取付けると規定され、³⁰⁾ 1964年には排出基準 (Motor Vehicle Emission Standards) が改正された。³²⁾ すなわち、テストサイクルは7モードサイクルのみとし、1970年からの基準値を炭化水素180 ppm, CO 1.0%とした。クランクケース排出は供給燃料 (重量) の0.1% (wt) 以下とし、燃料タンクからのもれは60~90°Fで、燃料タンクに $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ (平均 $\frac{3}{8}$) の燃料 (Reid Vapor Pressure 9) を入れ、ドライアイス温度で捕集した値が6/24時間以下とする。気化器のホットソーク (hot soak) 排出は冷却器温度を最低180°Fとした運転で1時間の排出量が2g以下と決定された。さらに、N-oxide 規制 (350 ppm) を提案し、排気口から10フィートの水平方向で、アイドルとアイドルからフルスロットルで25 mph までの加速時の判定による臭気規制、ならびに反応性炭化水素のみの規制が提案された。

1965年に公布された Health & Safety Code ³³⁾ には、大気汚染状態を有害、危険、緊急の3段階に分けて汚染物の許容値を定めた (第1章) 自動車排気も1970年までの基準値 (炭化水素, n-hexane, 275 ppm または0.165 vol% C, CO 1.5%) を定め、1970年以降は炭化水素180 ppm, CO 1.0%, NO₂ 350 ppm に強化すると決定し、炭化水素とCOはNDIR, および相当する方法, NO₂ は Phenoldisulfonic acid 法で測定するとした。テストサイクルは11モードサイクルとした。クランクケース排出は供給燃料の0.1% (wt) 以下で、その測定条件はアイドル (19%), 30 mphでマニホールドバキューム16 inHg (37%), 30 mphでマニホールドバキューム10 inHg (11%), 30 mphでマニホールドバキューム2 inHg (8%), 減速 (25%) とした。(内は全測定時間比である。燃料タンクもれは6g/日以下に、気化器のホットソーク排出は2g/h, 排気管はリンゲルマンチャート NO.1または5秒以内ではリンゲルマンチャート NO.2 とされた。

MVPCBでは、排気と防止装置の評価方法 ³⁴⁾、クランクケース排出防止装置の評価法 ³⁵⁾ とベンチフローテスト ³⁶⁾ およびバックファイヤーテスト ³⁷⁾ の詳細を定め、防止装置の120,000マイルテストを50,000マイルに縮めた。ニューヨーク州およびコロラド州でも1963年からブローバイ規制が実施された。³⁸⁾ さらに、7モードサイクルが決定されたのちの交通事情の変化から、新しいパターンの検討がなされている。³⁹⁾

1-1-2 全米の場合

ロスアンゼルススモッグと同様の現象が全米の各地で1963年ごろから現われ、³⁹⁾ 連邦政府で自動車排気による大気汚染が問題とされ、1965年の Clean Air Actの改正 ³¹⁾ 後から本格的に検討された。1966年には Health Education and Welfare から「新規動力車輛ならびに新規動力車輛のエンジンによる大気汚染の規制に関する規則」が連邦規則 (Federal Register vol 31, NO 61) ⁴⁰⁾ として告示された。これはカリフォルニアに準じたもので、1968年度から発売されるガソリン駆動の新型車と新型車用エンジンに適用され、 $\frac{1}{2}$ トン以上の営業車、排気量が50 cft (819.4 CC) 以下の自動車、3輪以下は除外され、N-oxide の排出基準も除かれた。炭化水素 (n-hexane) とCOの排出基準は気筒容積から区別され、カリフォルニアと全米の規制値を比較すると表4-2のとおりである。テストサイクルにはカリフォルニアの7

表4-2 カリフォルニア州と米連邦の規制値比較 (1968年度) ³²⁾

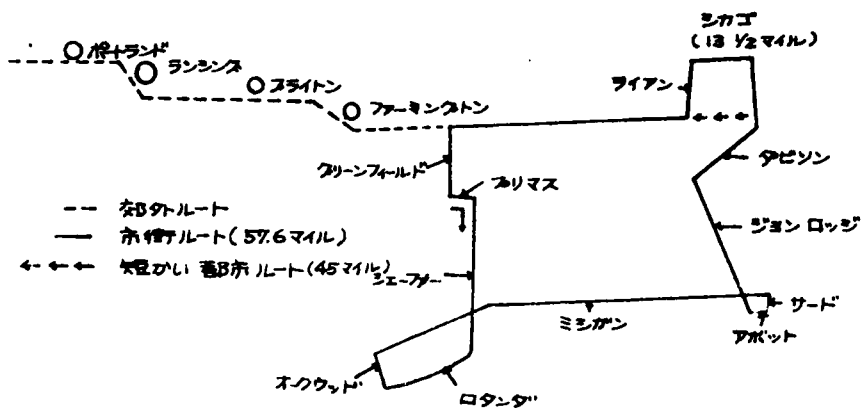
カリフォルニア州				全 米		
排気容量 (in ³)	HC (ppm)	CO (%)	NO _x (ppm)	HC (ppm)	CO (%)	NO _x (ppm)
A: <50 (820cc)	除外	除外	350	除外	除外	
A1: 50~100 (820cc)	410	2.3	-	410	2.3	
A2: 100~150 (1600cc)	350	2.0	-	350	2.0	
B: 150~200 (2500cc)	275	1.5	-	275	1.5	規制あり
C: 200~250 (4000cc)	-	-	-	-	-	-
D: 250~300 (4000cc)	-	-	-	-	-	-
E: 300~375 (4000cc)	-	-	-	-	-	-
F: >375 (4000cc)	-	-	-	-	-	-
バス・トラック (全車)	180	1.0	350	---	---	---

モードがそのまま採用され、4回のウォームアップと3回のホットサイクルのジャーシーダイナモテストで行なう。この測定の基本は、市街地をコールドスタートして17分間の平行走行での炭化水素とCOの評価を意図している。また、新車時のみでなく50,000マイル後の走行テストを最低4台について行ない、7,000マイルごとの測定による劣化指数から耐久性を表わす。公認燃料を用いる。3段手動車はトップギヤーで、オーバードライブは作動さ

せない。ギヤーを入れたままでクラッチを切った状態をアイドルとする。定速は一定のスロットルでエンジンの回転数とマニホールドバキュームでチェックする。加速時のギヤーシフトは0から25 mph への加速時は15と25 mph で、15 mph から30 mph への加速は最高ギヤーとする。減速はスロットルを閉じ、ブレーキで一定の減速率を維持する。0 mph までの減速では15 mph でクラッチを切る。4段手動車の低速ギヤーの伝導比が5.0以上では、これを除いて3段とする。さらに、エンジンの始動、排気サンプルの採取、記録の読取り、濃度の算出法、試験車の保守条件などについても詳細に規定され、平均車速32 mph の代表的な市街と周辺部のテストルートを決め、累積テストが提示された。これは図4-1のテストルートで、コールドスタートから4,000マイルごとの測定

図4-1 テストルート (AMA)⁴⁰⁾

デトロイト付近；平均車速32 mph



を5,000マイルまで行なって劣化指数を求めるもので、その際の燃料なども規定された。Maga³²⁾ は、排出規制の根拠が自動車排気の有毒性、光化学スモッグ、パブリック nuisancesにある以上、現行の規制はつぎの点で改訂されるべきであると述べた。すなわち、排気やクラックケース排出は燃料タンクからの蒸発損失とは異なり、排出量が車種で大きく異なるから、排出規制は濃度よりもむしろ排

出量でなされるべきである。クラックケース排出は1970年までに100%制御されるから問題はないが、大型車は同一距離の走行で小型車よりも多くの燃料を消費し、大量の排気を放出する。このため、排気濃度の規制は小型車に一層きびしい。排気の炭化水素濃度は気筒容積が増すと、減少するが、排出量は気筒容積の140 in³ 以下から375 in³ 以上で大差がない (0.43~0.50 lb/h)。COは気筒容積が増すと濃度も排出量 (lb/h) も増大する。1970年のロスアンゼルスの大気を、カリフォルニア基準のレベルにまで浄化するための必要な規制値 (炭化水素180 ppm, CO 1.0%) は排出量で示すと、炭化水素0.10 lb/h, CO 1.10 lb/h になる。さらに排出規制に採用されたNDIR法 (n-hexane) はオレフィンや芳香族の応答がきわめて悪く、酸化物はほとんど感知しないから、排気的光化学スモッグへの貢献度を減少させるための評価法としてはきわめて不適当であると述べた。また、ethylene, benzeneなどを混合した検知セルを用いたNDIRの改善は、いずれも成功していない。このような、排気的光化学的ポテンシャルにもとづく評価や反応性炭化水素の測定には、ガスクロマトグラフィー (GLC) がもっとも有利である。しかし、GLCは連続測定ができないから、単純な選択吸着法をルーチンテストに用い、実験室的測定にGLC法を使用するのがもっとも有効であると主張した。³²⁾

1965年にカリフォルニア公衆衛生局は、排気成分の反応性を表4-3のように示し、³²⁾ 今後の規制と測定法の進むべき方向を示すとともに、炭化水素のスモッグポテンシャルを加重因子とした評価法の問題を呈した。すなわち、排出源の重要性は排出量や組成のみでなく加重因子で大きく左右される。たとえば、Caplan⁹⁾ は気化器のホットソーク損失は排気とくらべて、モルあたりの反応性が1.7倍であると述べ、Faith³²⁾ の定義した排気1モルの反応性の0.8倍である。このような反応性の加重因子の決定は、1 ppmのオレフィンと0.2 ppmのNO₂の混合物でオレフィン濃度の半減時間から求められる。しかし、反応時間で加重因子がかなり異なり、今後の研究に待つところが大きい。排気の制御もこのような加重因子が重要で、Caplan⁹⁾ の資料では、C₂~C₅ オレフィン (ジオレフィンおよびシクロオレフィンを含む) を除去すると排気の反応性は55%も減少する。この場合に、Faith³²⁾ の加重因子を適用すると67%の減少となる。カリフォルニアの環境基準には排気の反応性を45%以上減少することが必要で、³²⁾ スモッグポテンシャルにもとづく規制がのぞまれる。さらに、走行パターンの調査やプロポーショナルサンプリング系によるバッグサンプリングも

表4-3 排気の炭化水素の光化学反応性⁵²⁾

Faithによる相対反応性			自動車排気の炭化水素の反応性		
炭化水素	反応性		炭化水素	反応性	
Di-olefin	10		Mono-olefin	100	
Aldehydes	4		Acetylenes	10	
Paraffins	0		Dienes	200	
Acetylenes	0		Aldehydes	200	
Ketones and Alcohols	1		Paraffins	0	
H-C Chloride	1		C ₁ -C ₈ Heptanes	8	
			Octanes	15	
Mono-olefin	9		Aromatics	0	
C ₈	5		Benzene	10	
C ₉	4		Toluene	20	
			Xylene	20	
Aromatics	6				
Tri-subst(C ₈ -C ₁₀)	3				
Di-subst(C ₈ -C ₁₀)	1				
Mono-subst	0				
Benzene	0				

検討され、将来はバックサンプルで排気全量の採取による測定法とすべきであると主張⁵²⁾されている。

1-1-3 ヨーロッパ諸国の場合

ヨーロッパ諸国では、光化学スモッグが発生するに至っていないが、年々大気汚染度が上昇していると報告⁵¹⁾されている。現在は、大気汚染の実態調査がなされはじめた段階である。しかし、ヨーロッパ諸国から米国へ輸出される自動車数は大量で、⁵³⁾ 米国の排出規制の適用を受けることから関心が高まっている。14の自動車生産国で構成された Bureau Permanent International des Constructeurs d'Automobiles はヨーロッパ統一サイクルを提案し、米国の7モードサイクルよりも再現性がよいと主張している。⁵⁴⁾ フランスでは1965年4月以降にブローバイベンチュリーの取付けが規定され、ブローバイ排出は供給燃料(重量)の0.15% (wt) 以下とされ⁶⁾、ジーゼル排気煙はハートリッジ濃度で規制されている。⁶⁾ また、パリ市ではアイドル時のCO濃度を4%以下と規定され、正規のアイドル回転時にアイドル調整弁と、スロットル調整弁の加減でCO濃度を減少させる。いわゆるパリ方式が採用され⁵²⁾、ほとんど完全にその目的を達していると述べられた。⁵⁰⁾ この方法は、小早川⁵⁹⁾ がきわめて有効であると述べ、金田ら⁴⁷⁾ が、排気成分の排出には加速時などの影響が大きく、調整後の走行性能や、気温差による調整が困難であるなどの問題点が非常に多いと述べている。

西ドイツでは、ジーゼル機関の不完全燃焼ガスの規制が実施されている。1967年度よりパリと同様に、アイドル時のCO規制(4.5%以下)が考慮されたが、1966年に米国と同様の7モードサイクルによる規制が発表され、1968年1月以降を実施時期とした。排出基準としては表4-4の案が発表された。⁴⁷⁾

イギリスでは、自動車排気の規制段階になく、規制案として炭化水素は $275 \text{ ppm} \times 4.000 / \text{車輛重量 (1t)}$ 以下、COは $1.5\% \times 4.000 / \text{車輛重量 (1t)}$ 以下が提案されている。⁵⁴⁾

イタリアでは、ジーゼル車の排気煙濃度を規制する予定といわれる。⁴⁷⁾

表4-4 西ドイツの規制案⁴⁷⁾

燃料消費量 (l/h)	0.8以上 ~ 1.6未満	1.6以上 ~ 2.3未満	2.3以上
CO (%)	2.3	2.0	1.5
C ₈ H ₁₀ (%)	0.0410	0.0350	0.0275

(2) 案：燃料消費量に基づく基準(適用範囲 排気量 0.8 l/min ~ 2.3 l/min)

$$\text{CO} = \frac{18.75}{1/100 \text{ km 当りの燃料消費量 (DIN 70030 に基づく)}} \text{ 以下}$$

$$\text{HC} = \frac{0.375}{1/100 \text{ km 当りの燃料消費量 (DIN 70030 に基づく)}} \text{ 以下}$$

1-1-4 わが国の排気規制

わが国では、1963年に行政管理庁から「自動車排気ガスなどの規制について基準を具体的かつ適正に定めるとともに車検および取締りを強化して防止につとめる必要がある」と勧告され、排気規制の気運が高まった。⁴¹⁾ 1964年には交通基本問題調査会の答申がなされ、⁴²⁾ 運輸省は自

自動車排気有害ガス防止対策長期計画を発表した。⁴⁶⁾ 1965年に自動車工業会がブローバイガスの浄化装置を1966年、排気の浄化装置を1967年までに開発する努力目標を決めた。⁴⁵⁾ 1966年に運輸省から規制案と試験方法が内示され、1965年9月以降申請される新型車のCO規制が実施された。適用範囲はガソリン燃料の普通および小型自動車で、2輪自動車は除外された。許容濃度は新車時にCO濃度3%以下とされ、測定法も規定された。⁴⁷⁾ ジーゼル車は1957年から排気煙濃度がマンセル色票7.0以下と規制された。⁴⁴⁾ さらに、ボッシュ測定器によるスモークリミットが、ジーゼルエンジンの気筒容積3ℓ以下は6.0、容積3～6ℓは6.5、6ℓ以上は7.0と要望されている。⁴⁵⁾ ⁴⁶⁾ 1967年には、排気のCO、CO₂ および炭化水素の連続測定法の日本工業規格(JIS)が定められた。⁴⁸⁾ これは、カリフォルニアに準じたシャシーダイナモテストで、全米の試験法ともほとんど同様である。ただ、わが国は都市の走行情が米国とは異なるから、テストサイクルには船舶技術研究所案⁴⁹⁾ なる4モードサイクルが採用された。金田ら⁴⁷⁾ はテストの運転条件を述べた。すなわち、試験車重量から等価慣性質量を規定し、変速器中立で指定回転とした状態をアイドルとし、自動変速器はドライブとする。加速条件は加速度0.1gの状態(3.5km/h/sec)で、定速は10km/hがローギヤー(セカンド)、20km/hがセカンドギヤー(サード)、30～70km/hがトップギヤーとする。()内は4段変速機。減速はトップギヤーで、アクセルペダルを離し、ブレーキで操作する。車速20km/hでクラッチを切り変速機を中立に戻して停止する。減速度は0.06g(2.1km/h/sec)と述べた。副島ら⁴⁹⁾ は4モードサイクルよりも高く、わが国の排出規制が米国よりもきびしい⁴⁷⁾ と述べた。

かくして、わが国も1968年から本格的な排気規制時代となるが、炭化水素、N-oxide規制などで米国に大きく立遅れている。わが国の都市の大気汚染は自動車に負うところが少なく、排気による障害は交差点などの局所的汚染のみとの主張⁵⁰⁾ もあった。しかし、各種の実態調査⁴⁹⁾ などから排気による汚染は無視できない現状⁴⁹⁾ で、その傾向は自動車交通の激化とともに、深刻化しており、決してゆるがせにできる問題ではない。

1-2 排気ガス防止装置

自動車からの汚染物の防止方法は、燃焼効率の向上による未燃焼成分の再燃焼、気化器や燃料タンクからの蒸発損失の防止などに大別され、実用化されているものも少なくない。しかし、現在のところでは決定的な装置、または方法が樹立されるに至っていない。⁵¹⁾

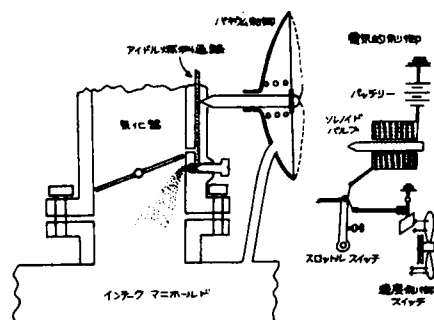
Linvilleら⁵⁷⁾ は汚染物の防止をつぎのように分類した。

(1) 燃料の改質：スモッグポテンシャルの大きい排気のオレフィンと相関性のある燃料のオレフィンを減少する。カリフォルニアと全米では燃料のオレフィン含量が規制された。また、燃料改質としてアルコール燃料はスモッグ物質の排出は減少させるが、眼の刺激効果や燃料コストから実用段階にない。LPG燃料はガソリンよりも炭化水素、CO、アルデヒドの排出が少なく、N-oxideは同程度で、臭気も少ない。さらに排気にC4以上のオレフィンも少ないが、スモッグを減少させるとは断言できず、出力の点からガソリンにくらべて不利な場合が多い。燃料添加物(Fuel additives)に炭化水素を減少させるものはほとんどない。ガソリンエンジンの不完全燃焼には燃焼室内の壁面冷却や排気の希釈のような固有の効果が大きく、燃料添加剤が排気問題を解決する可能性はほとんどない。

(2) 減速時の燃料遮断装置；アイドル時に燃料流を遮断する方法で、その概略は図4-2に示す。ニードルバルブはマニホールドバキウム、または電氣的に作動する。実用的には制御メカニズムが重大な問題点で、この装置を用いた台上テストで炭化水素、90%以上が減少したが、ロードテストでの減少率は50%を下まわる。

(3) バキウムの遮断器および制御器；減速時には炭化水素排出が最高で、マニホールドバキウムが非常に高く、燃焼は断続的であるから、この高いバキウムを防ぐ方法である。バキウム

図4-2 減速時燃料遮断装置⁵⁷⁾



遮断器はバキュームを「0」にするためにマニホールドへ空気を注入する。(図4-3)スロットルの急速な開閉に応じるメカニズムが最大の問題点となる。定常状態での炭化水素の減少率は68～84%で、もっとも安価である。バキューム制御器にはマニホールドへ空気を入けて圧を下げるものと、気化器のスロットルを開けて圧を下げるものがあるが、実際には、これらの装置は減速時に炭化水素の排出が1.3～3.5倍も増加することが多い。

(4) 供給空気へオゾンまたは酸素の付加；吸入空気流へ電氣的に発生させた酸素，またはオゾンを送入して燃焼効率を高める方法で実用段階にない。

(5) 燃料の霧化およびガス化装置；気液の均一化による燃焼の促進を目的としたもので、その概略を図4-4に示す。吸入空気の流に作用する機械的細断器とガソリン粒子を細かくするスクリーンからなり、燃料の気化を効果的にするために排気マニホールドの熱を利用したものもある。

(6) 気化器隔離バルブ；気化器とマニホールドとの間にバルブを設け、減速時にバルブが閉じて両者を分離する。(図4-5)バルブを完全に閉じると、マニホールドバキュームが著しく高くなってバルブガイドやピストンリングの間からオイルを吸引し、煙を発生する。これを防ぐために別のバルブで空気を注入したり、排気を再循環させる方法が採られ、ロードテストによる減少率は約60%である。

(7) 排気の再循環；排気ガスをマニホールドや気化器へ再循環させて燃焼する方法で、排気組成にはほとんど変化がなく、エンジンの性能に及ぼす影響が大きい。また、エンジンの運転に影響しない程度に再循環させると炭化水素の制御には効果がない。

(8) 燃料注入；減速時に燃料流を止めて燃料を注入する方法で燃料遮断と同程度の効果がある。燃料注入をインレットポートから行なうと、注入の時期と混合気がシリンダーに達する時期の間に遅れがなく、アイドリングが最小となる。燃料注入系を改良したコンベンショナルキャブレターは気液率をよくするが、燃料注入法は排気のスモッグポテンシャルを制御するには疑問である。

(9) 排気ガス処理装置；排気処理装置は2とおりに大別される。その1種である排気浄化装置には水洗，化学洗滌，フィルター，吸収剤，遠心クリーナーなどがあるが、水洗法は効果がなく，スクラバーは実用性に乏しい。フィルターや吸収剤は不適當で，粒子除去装置も実用段階ではない、他の分類のアフターバーナーは直接アフターバーナーと触媒マフラーに分けられ、前者の概略は図4-6に示す。燃焼室への燃料や酸素の供給，発火点温度の保持，注入空気量の制御などに有効なものがない。また，装置へ燃料を注入する方法もあるが，実際には使用できない。さらに，減速時に点火サーキットを閉じ，燃えやすい混合物を装置へ送る減

図4-3 バキュームブレイカー⁵⁾

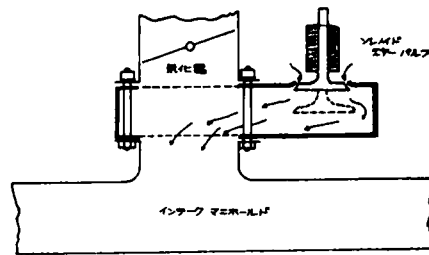


図4-4 燃料霧化装置⁵⁾

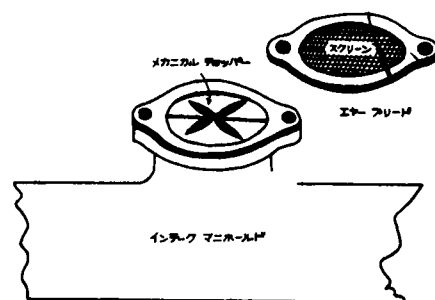


図4-5 気化器隔離バルブ⁵⁾

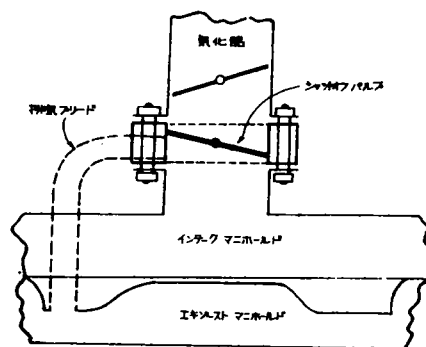
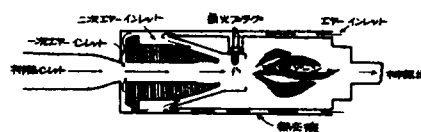
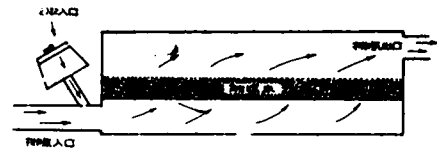


図4-6 アフターバーナー⁵⁾



速アフターバーナーは実用段階にない。触媒マフラーの概略は図4-7に示す。排気を完全酸化するために触媒の加熱が必要で、加熱温度が高すぎると CO_2 が CO に分解する。供給空気と温度の制御が触媒の寿命とともに重要である。触媒にはプラチナ、バナジウムなどが使用され、直接フレイムアフターバーナーと同様に炭化水素の除去率は90%以上を示す。

図4-7 触媒マフラー⁵⁷⁾



(10) 窒素酸化物の制御 : N-oxide の生成は理論気液率より大きい場合に最大で、濃厚混合気で減少し、炭化水素と反対で

ある。混合気に水を添加するとサイクルピーク温度が下がり、燃焼背圧を下げるから N-oxide 生成が減る。しかし、炭化水素には変化がない。実際に効果を示す程度の水分量はガソリン消費量の半分位の多量で、エンジンの出力が著しく低下する。

(12) 他の汚染物の防止 ; 排気の CO や煙も重要な汚染物で、有効な除去法の開発がのぞまれる。

実用的なアフターバーナーは、Chipman⁵⁸⁾がクレイトンアフターバーナーで、供給燃料にたいする炭化水素の排出比(重量)が1.1~1.4%(wt)から0.22~0.26%(wt)に減少したと述べ、Chipman⁵⁹⁾は、触媒コンバーター(900~950°F)のウォームアップ(750°F)が8~10分で、除去率は全オレフィン70%、アセチレン56%、全炭化水素55%、エチレン37%であると述べた。Hartley⁶⁰⁾は燃料タンク蒸発損失の90%と気化器蒸発の95%を防ぐ方法を述べ、Stein⁶¹⁾は触媒による炭化水素の分解温度を検討し、側鎖成分にくらべて直鎖成分の分解が困難で、酸化速度は分子量とともに増し、不飽和度の高い成分ほど分解しやすいと述べた。Bishop⁶²⁾はベンチュリースクラバーによる粉じんの除去を述べた。Worsham⁶³⁾はエキゾーストマニホールドにステンレスの熱交換器を取付けた非触媒燃焼器で70%以上の炭化水素と CO が減少したと述べ、Innes⁶⁴⁾は $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 触媒で、全炭化水素が処理前の0.7 mol%から0.3 mol%に減少したと述べた。Richards⁶⁵⁾は、定常のブローバイガスをシリンダーへもどして再燃焼させると、排気とクランクケースからの炭化水素の約40%が減少できると述べた。Faith¹⁶⁾はエンジンの最高の保守で、炭化水素の50%が防止され、減速遮断、またはスロットル遅延装置で炭化水素が25%減少する。エンジンへブローバイガスをもどすと、炭化水素を10~50%減少できる。直接焰または触媒型のアフターバーナーは炭化水素100%、 CO 50%の除去が期待できるが、装置の加温や触媒温度の上りすぎ、さらには寿命の面で大きな問題が残ると述べた。Clarkson²⁴⁾は防止装置のコストについて述べた。

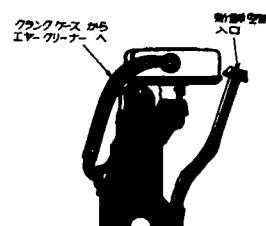
Atkisson²⁹⁾は、汚染物排出量はガソリン1galあたり3.4lbで、11%が炭化水素、3%が N-oxide 、85%が CO であるとして、15都市のガソリン消費傾向から大気汚染の動向を推測し、1965年以後の米国の大都市では光化学スモッグがあらわれると予想した。1960年にはワシントン州などで眼の刺激がみられ、他の諸州でも1965年ごろからクランクケース排出規制が実施されつつあるが、いずれも数年後にはニューサンススモッグレベルを越えると述べ、全米的な排気ガスの規制の必要性を強調するとともに、実用化されたクランクケースベンチュリースシステムを述べた。Kopar⁶⁶⁾は、従来からエンジンノック防止に用いられる排気の循環再燃焼法を述べた。約12%の排気をマニホールド再循環させた台上テストで、ピストンリングの疲労が半分となり、循環ガス温度が130°F以下では循環ガスの水分の影響が大きく、凝縮した水分でリングの疲労が非常に大となる。また、リングの疲労はサイクルピーク温度に比例するがこの温度を下げると指示馬力が減少する。シリンダー内の汚れは顕著ではないが点火栓の汚れが大きい。排気を12%再循環させると燃料消費率が0~4%増大するが、 N-oxide は中負荷で80%、高負荷で60%減少すると述べた。Ridgway⁶⁷⁾は直接焰アフターバーナーに熱交換器を用いた効果を述べ、1962年にゼネラルモーター社ではクランクケースベンチレーションシステムを発表し、カリフォルニアのMVPCBの認可を得た。⁶⁸⁾ Faith⁶⁸⁾はカリフォルニアの試験法を述べ、触媒酸化と直接焰アフターバーナーのみが規制に適合する可能性をもつと述べた。さらに、米国で実用化されていた直接焰アフターバーナー、触媒コンバーター、触媒マフラーの性能、コスト、耐久性を比較した。Middleton⁵⁷⁾も排気およびクランクケース排出防止装置の評価について述べ、カリフォルニアでは、ドライバーの1年間の平均走行距離が9,500マイル(12,000マイル;24%以上、5,000~12,000マイル;56%)で、処理装置の要求

寿命が12,000マイルとされたと説明した。Stern⁷⁰⁾ は気化器とディストリビューターを改良して希薄混合気とすると汚染物の排出が減少すると述べた。Jensen⁷¹⁾ は可変オリフィスバルブでクランクケースガスをマニホールドへ導く方法を述べた。

London⁷²⁾ は、気化器火花点火エンジンは燃料あたりの排出量が炭化水素0.55lb/lh, CO 0.53lb/lhで、気液率は11~16である。圧縮点火方式のディーゼルは気液率19~90で、排出量は炭化水素0.011lb/lh, CO 0.21lb/lhである。ガスタービンの燃焼は連続的でピストンエンジンとの間歇的燃焼とは異なり、希薄燃料（気液率45~110）で炭化水素やCO がもっとも小さい。気化器火花点火エンジンで気液率を常に14~16にすると、炭化水素はカリフォルニア規制（燃料の1.1%）以下となる。また、通常のエンジン調整で炭化水素排出は燃料の5.5% (wt)から2.2% (wt)に減少できる。ディーゼルはコストが高く、容積および重量が大きく、燃焼騒音が大きく大衆乗用車に使用され難い。しかし、スモッグポテンシャルからは有利で、過負荷時の排気煙は吸入空気スロットルを減少して改善できる。ガスタービンも有利であるが、実用的には将来の問題である。火花点火エンジンもディーゼルのように過剰空気を圧縮し、燃料を注入して火花点火するストレートチャージ方式が有利であると述べた。日暮⁷³⁾ はOXY排気ガス触媒浄化装置のCOの浄化率が92.5~99.2%で、触媒の白金、アルミナの寿命は1,000~3,000時間である。とくに、LPG燃料では寿命が4,000時間と伸び、背圧上昇もアイドル、中速および高速でほとんどなく、加速時に約2.2倍であると述べた。Freeman⁷⁴⁾ はChromium-alumina触媒によるCOと炭化水素の酸化に、200~500°Cで少量の白金、または銅をクロームに混ぜると酸化効率が増加すると述べた。

カリフォルニアでは1960年から新車のクランクケース排出規制、および1963年からの中古車規制の効果が推測された。⁷⁵⁾ Baker⁷⁶⁾ は銅、酸化コバルト、アルミニウム酸化物は1,500PPMのN-oxideを500°Cで90%除去し、酸化速度は10,000h⁻¹で、これらの触媒0.1ft³ (12lb)をエキゾーストマニホールドの近くにおくと、加熱や空気の供給なしにN-oxideの約86%が除去できると述べた。自動車排気委員会は、処理装置は300~3,000PPMの炭化水素と1.5~6%のCOがMVPCBの測定法で、炭化水素275PPM以下、CO 1.5%以下への減少が必要と述べた。⁷⁷⁾ また、実用化された6種の装置を比較し、実用車に広く普及させて性能を十分発揮させるにはコスト、維持費、機構などの点で問題点が多いと述べた。⁷⁸⁾ Raymond⁷⁹⁾ はMVPCBの試験法を概説し、処理装置はa) 製造費、維持費が安価、b) 性能の寿命が最低12,000マイル、c) 発生熱が他に影響しない、d) 装置の機能低下で危険を生じない、e) 背圧は25%増加をこえない、f) バックファイヤーで性能に変化を生じない、g) 車内へ排気が入らない、h) 降雨、登坂などのきびしい運転条件でも性能に変化がない、ことが必要と述べた。さらに、米国自動車工業会(AMA)の規定で、1963年型新車(ガソリン車、トラック)にクランクケースベンチレーション装置が付けられ、気筒容積140in³以下は1964年からポジティブクランクケースベンチレーション装置(PCV)の取付けが定められ、1965年以降には全車に適用された経過について述べるとともに1964年に認可された排気の処理装置を概説した。PCV装置には3型があり、クランクケースからエアークリーナーへのパイプ管(図4-8)、クランクケースのバキュームで自動的に作動するマニホールド上のロッカーアームとつながったベンチレーションバルブ(図4-9)、両者の組合わせ、またはスプリットフロー型である(図4-10)。また、触媒コンバーターは触媒のウォームアップが重要な問題で、アフターバーナーは製造費や熱的な問題がある。アフターバーナー型はN-oxideには効果がなく、触媒型はCOに効果がないと述べた。Stahman^{80)~82)} は調時燃料注入系(timed port fuel injection system)について、点火時期、気液率、トランスミッション、車速などの検討から、ロードテストでCO50~60%、炭化水素25~50%が減少すると述べた。また、通常の気化器ではアイドル時のディストリビューターのリタイミングと気液率の希薄化で排出減少がえられる。調時燃料注入系は通常の気化器よりも希薄混合気で、より円滑な運転

図4-8 クランクケース排出防止装置⁷⁹⁾



転がえられ、燃料消費も減少し経済的であると述べ、ロードテストによる効果を表4-5のように示した。

図4-9 ポジティブ クランクケース
ベンチレーション⁷⁹⁾ システム (PCV)

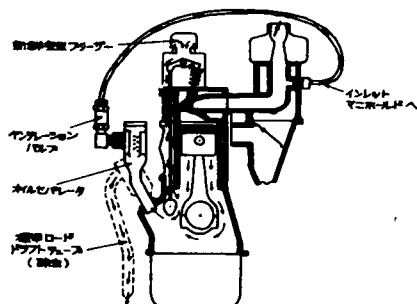


図4-10 スプリット フロー ポジティブ クランクケース
ベンチレーション システム (SPCV)

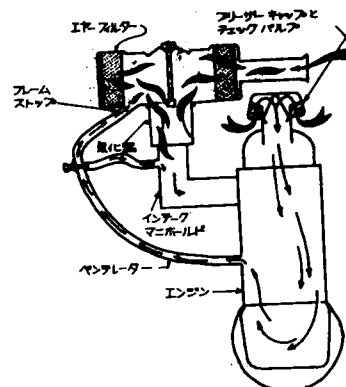
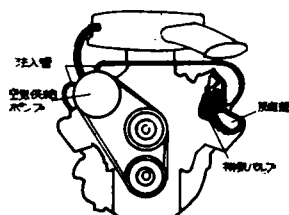


表4-5 通常気化器と燃料注入系 (Optimized Fuel Injection) によるロードテストの比較⁸²⁾

項目	住宅路		幹線路		フリーウェイ		高速度	
	燃料 注入系 気化器	通常 燃料 注入系 気化器	燃料 注入系 気化器	通常 燃料 注入系 気化器	燃料 注入系 気化器	通常 燃料 注入系 気化器	燃料 注入系 気化器	通常 燃料 注入系 気化器
手動トランスミッション								
CO, %	1.9	5.7	1.5	5.7	0.9	5.0	3.2	4.9
HC (IR), ppm C	3,400	5,200	3,200	6,500	1,800	3,700	2,700	6,200
HC (FIA), ppm C	5,700	10,200	5,000	11,100	2,700	6,100	5,000	10,600
自動トランスミッション								
CO, %	0.7	2.6	0.5	2.7	0.8	2.1	2.6	3.0
HC (IR), ppm C	1,900	2,600	2,500	3,600	1,700	1,900	2,400	2,700
HC (FIA), ppm C	2,800	4,600	3,400	5,900	2,100	3,400	3,700	5,000

Sweeny⁵⁶⁾ は1964年までの処理装置の開発状況、ならびに新車と中古車にたいする装置の性能と経済性について述べた。新車用の装置のAMF Chromalloy 社のアフターバーナーは炭化水素221ppm, CO1.17%, コスト50ドル年間平均経費(5年間)15.7ドルで, Arvin UOP 社の触媒は炭化水素186ppm, CO 0.62%, コスト80~120ドル, 年間経費2625~3950ドル。Grace-Norris 社の触媒は炭化水素272ppm, 1.19%, コスト65ドル年間経費34ドル。Walker Cyanamid 社の触媒は炭化水素224ppm, CO0.73%, コスト57ドル, 年間経費2750ドルである。中古車用のAMF Chromalloy 社のアフターバーナーはコスト8150ドルで、年間経費526ドル。Walker Cyanamid 社の触媒はコストが100~150ドル, 年間経費28ドルで、これらの性能は新車用と同程度であると述べた。Maga⁸³⁾ はN-oxide 規制の必要性を指摘した。Brownson ら⁸⁴⁾ は、単気筒エンジンの排気ポートに空気を注入して炭化水素とCOを酸化する空気注入法(Air injection system)を検討した。

図4-11 エアインジェクション システム⁸⁴⁾



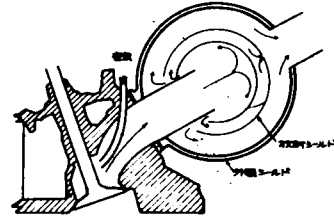
排気系の発光酸化と非発光酸化は点火タイミング、気液率、排気マニホールドの大きさ、注入空気の温度と流速、空気注入系のウォームアップ特性などに影響され、ウォームアップ特性は点火タイミングとマニホールドの型に支配される。これらの条件を最適にすると炭化水素は27ppmまで減少するが、COの減少が24%と低い。Cantwell ら⁸⁵⁾ は排気の熱エネルギー保持、十分な空気の供給、空気と排気の混合増進が性能に影響するから反応コアの囲りを排気が循環する方法や、多段放射シールドで、さらに高い効率がえられる。プロダクションマニホールドと循環放射シールドリアクターを付

けた効果を表4-6のように示した。循環放射シールドリアクターの概略は図4-12に示す。さらに、冷焔現象は周囲からの熱移動による排気温度の低下、排気と反応した不活性ガスによる排気-空気混合物の希釈、添加空気量の不適正が

表4-6 マニホールド空気注入における再循環と放射シールドリアクターの効果⁸⁵⁾

条 件	排気濃度減少率(%)			
	HC ppm	CO %	HC %	CO %
エンジンA				
通常マニホールド (空気注入なし)	471	2.23	100	100
通常マニホールド (空気注入)	175	0.85	63	62
再循環放射 シールドリアクター (空気注入)	54	0.60	88	73
エンジンB				
通常マニホールド (空気注入なし)	675	3.43	100	100
通常マニホールド (空気注入)	335	2.42	50	29
再循環放射 シールドリアクター (空気注入)	205	1.40	70	59
エンジンC				
通常マニホールド (空気注入なし)	343	2.07	100	100
通常マニホールド (空気注入)	282	1.30	18	37
再循環放射 シールドリアクター (空気注入)	83	0.92	76	56

図4-12 再循環放射シールドリアクター



主な原因で、ガス温度が100°F下がるとリアクターの燃焼効率は50%以上低下すると述べた。

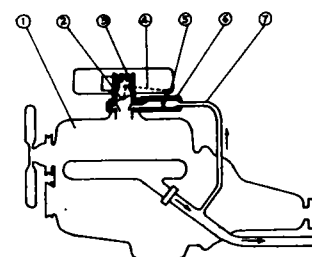
Hurn⁸⁶⁾は、炭化水素とCOは気液率が大きくなると減少し、希薄混合気がスモッグ減少に役立つと述べ、Caplan⁸⁷⁾は炭化水素の反応性からスモッグポテンシャルにもとづいた減少対策が必要であると述べた。このことから、わが国でも排気処理の関心が高まり、栗原⁸⁸⁾は触媒式排気ガス浄化マフラーを試作したと報

じた。Freeman⁸⁹⁾は燃料注入方式が燃料消費を減少させ、COと炭化水素を減少させるから経済性に富むと述べた。Kopa^{90) 91)}は通常の気化器で気液比が理論値に近ずくと、CO、炭化水素が減少し、N-oxideが増大するから希薄混合気法には限度があるとして、サイクルピーク温度を下げてN-oxideを減少させる排気の再循環を述べた。

15%の排気の再循環でサイクル温度を16%下げ、Nitric oxideの生成が85%減少する。再循環系の概略は図4-13に示す。排気の再循環率を15%にするとN-oxideが88%、出力が16%減少し、燃料消費が14%増す。出力と燃料消費は点火タイミングを1°進めると補償されるが、N-oxide減少率が60%になる。実用車の測定では、N-oxide減少率が70~87%で、点火タイミングを変えないと燃料消費は8%増加する。また、この方式は出力波動(Power surging)が起こり、中古車で著しい。これは再循環排気がマニホールドから送るから吸入混合気の気液比が高くなるためで、燃料供給を約10%増して気液比を14:1とすると出力波動は止まり、N-oxideが大巾に減少する。しかし、炭化水素とCOが増加し、N-oxideを90%減少させるためには燃料消費が26%増すと述べた。また、気化器のブースターベンチレーが出力波動にもつとも大きく影響することを指摘し、気化器のインレットマニホールドを加燃するとN-oxide、炭化水素、COが増大することを示した。さらに、混合気を均一化する燃料アトマイズ気化器で、COが大巾に減少すると述べた。

小早川⁹²⁾は米国で実用化されたクリーンエアーパッケージ方式と空気注入系を概説した。前者(CAP)は気化器とディストリビューターの改良、減速時の点火時期を制御するセンシングバルブ、アイドル時のやや高い回転数と希薄気液率のために負荷による過度特性が重要な問題となる。アイドル時の炭化水素減少には点火進角の遅い方が良好で、減速時には早い進角となるように吸気圧でディストリビューターが調整される。CPA方式で炭化水素は526ppmが174ppmに、COは2.99%が1.39%。

図4-13 排気ガス再循環システム⁹⁰⁾



- ① エンジン
- ② スロットルバルブ
- ③ 気化器
- ④ スロットルと気化器バルブの連絡
- ⑤ 排気ガス再循環コントロールバルブ
- ⑥ 再循環管
- ⑦ 排気系との連絡バルブ

に減少し、燃料経済が 0.4 km/l 増すが、調整条件の保守がきわめて困難など問題点が多いと述べた。また、湯沢⁹³⁾ は化器の改良の効果を述べた。北川⁹⁴⁾、小早川⁹⁵⁾ は、わが国やフランスでは自動車走行の40%がアイドルで、アイドル調整によりわが国の大気汚染はほぼ解決されると述べた。この方法はアイドル時の燃料吸入量を減らすもので、フランスの例では4.9~6.25%のCOが2.6~2.9%に低下し、わが国でも調整前のCO2.5~1.4.2%が、調整後に1.0~7.4%に減少したと述べた。また、わが国で市販されている白金触媒式燃焼装置は500km走行後の除去率がCO85.8~95.9%、炭化水素56.7~60.0%で、1,000km走行後の除去率はCO68.8~71%、炭化水素39.4~62.2%を示し、COを2%以下とするには26,000kmごとに触媒を交換する必要があるとの報告⁹⁶⁾ もある。

Cote⁹⁷⁾ はシンシナティでのポジティブクランクケース・ベンチレーション・システムの取付け状況を述べた。1953~1966年型車の70%は製造者の指示状態にあるが、30%は補修が必要で、調査車の5%はクランクケースガスを放出している。装置の性能低下は走行距離の増加と旧年式車ほど大きく、装置の保守にたいする一般教育を徹底させる必要があると述べた。Robisonら⁹⁸⁾ は蒸発タンク化器で混合気が大きく改善されると述べた。Magaら¹⁰⁾ は排気規制の効果をカリフォルニアの4地区について算定し、1940~1980年の炭化水素の状況を図4-14のように推定した。CO規制値を1966~1969年は1.5%、1970年以降は1.0%とし、炭化水素は1963年からクランクケース規制、1966年からクランクケ

ス規制と排気規制(炭化水素275ppm)、1968年から中古車規制(クランクケース規制と排気規制; 275ppm)、1973年から新車の炭化水素180ppm、1974年から新車の蒸発制御とに分けて算出したものである。表4-7⁹⁹⁾ には現在実用化されている装置(1968年型車)のカリフォルニアテスト法による結果を示す。表の機能低下係数は4,000マイル走行時と50,000マイル走行後の比で、大部分が自動車の価格に含まれている。

ごく最近に、わが国でも実用車に排気処理装置が付けられ、トヨタマニホールドインジェクション¹⁰⁰⁾ 日産方式¹⁰¹⁾、いすゞエアインジェクションリアクター方式¹⁰²⁾などが発表された。これらはいくつかの制御機構を組合わせたもので、いずれも米国の基準値以下にCOと炭化水素を減少できると述べている。

以上は、米国での排気規制の経過と他国での動向を概察し、カリフォルニアの環境基準が基礎となって発展したことを明らかにした。また、規制の目的が排気の有害性、光化学スモッグの軽減にあるが、実施操作や行政的見地からCOとn-hexaneによる排気評価法や規制基準が採用された。このためにスモッグ関与成分、排出量、有害成分、ロードテストなどの評価が除外されており、実際の都市大気の大気汚染防止の点からは不十分な規制で、改訂の必要性がさかんに指摘されていることを述べた。

さらに、自動車から排出される未燃焼成分の制御方式の開発状況を略述した。ほとんどが米国での成果で、排気やクランクケース排出防止装置では実用化されているものも少なくない。しかし、実際に実用車に付けられている装置はいずれも性能、寿命、製造費、維持費、制御機構、装置の保守、エンジンにたいする影響などに多くの問題点が指摘されており、現在のところ決定的な装置、または方式が確立されるには至っていない。このようなことから、本研究では普及性のある安価な実用的な制御方式について以下に述べる検討を行なった。

図4-14 ロスアンゼルスにおける排気ガス規制の炭化水素排出にたいする効果¹⁰⁾

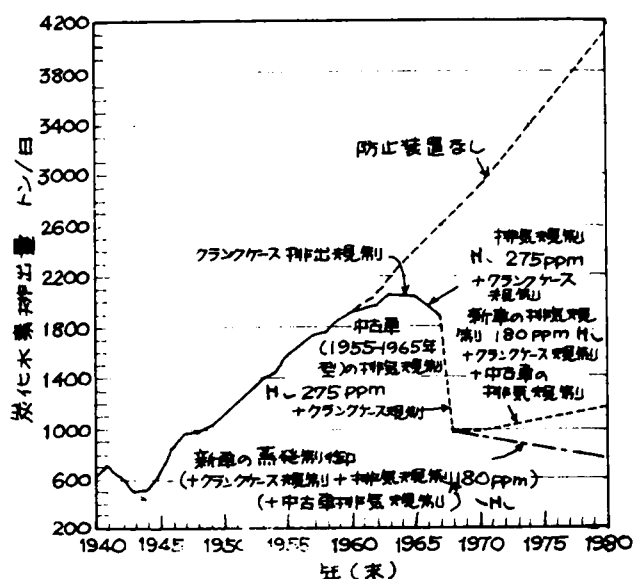


表4-7 1968年車のカリフォルニア排気試験結果

会社名	排気装置方式	排気装置の主要部品	HC [ppm]	CO [ppm]	HC [ppm]	CO [ppm]	HC [ppm]	CO [ppm]	点検 備考	試験 備考
ゼネラルモーターズ (General Motors)	A エンジン排気方式 (エンジン排気管の形状と排 気装置の位置関係) B 空燃比調整方式 (空燃比調整装置の位置関係 と排気管の形状)	A (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整 B (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1000 マイルで点検 1000 マイルで点検 (点検時には電圧式 点検装置を使用)	34000 マイル 24ヶ月
クライスラー (Chrysler)	CAP (Cleaner Air Package) 方式	(1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	1000 マイルで点検 1000 マイルで点検 (点検時には電圧式 点検装置を使用)	12000 マイル 24ヶ月
フォード (Ford)	A エンジン排気方式 (混合気調整と排気管の位置 関係) B 空燃比調整方式 (空燃比調整装置の位置関係 と排気管の形状)	A (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整 B (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	1000 マイルで点検 1000 マイルで点検 (点検時には電圧式 点検装置を使用)	24000 マイル 24ヶ月
日産自動車 (Nissan)	A エンジン排気方式 (混合気調整と排気管の位置 関係) B 空燃比調整方式 (空燃比調整装置の位置関係 と排気管の形状)	A (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整 B (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1000 マイルで点検 1000 マイルで点検 (点検時には電圧式 点検装置を使用)	12000 マイル 24ヶ月
ボルボ (Volvo)	A エンジン排気方式 (混合気調整と排気管の位置 関係) B 空燃比調整方式 (空燃比調整装置の位置関係 と排気管の形状)	A (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整 B (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1000 マイルで点検 1000 マイルで点検 (点検時には電圧式 点検装置を使用)	12000 マイル 24ヶ月
ポルシェ (Porsche)	A エンジン排気方式 (混合気調整と排気管の位置 関係) B 空燃比調整方式 (空燃比調整装置の位置関係 と排気管の形状)	A (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整 B (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1000 マイルで点検 1000 マイルで点検 (点検時には電圧式 点検装置を使用)	12000 マイル 24ヶ月
アメリカンモーターズ (American Motors)	A エンジン排気方式 (混合気調整と排気管の位置 関係) B 空燃比調整方式 (空燃比調整装置の位置関係 と排気管の形状)	A (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整 B (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1000 マイルで点検 1000 マイルで点検 (点検時には電圧式 点検装置を使用)	12000 マイル 24ヶ月
サバル (SAAB)	A エンジン排気方式 (混合気調整と排気管の位置 関係) B 空燃比調整方式 (空燃比調整装置の位置関係 と排気管の形状)	A (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整 B (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1000 マイルで点検 1000 マイルで点検 (点検時には電圧式 点検装置を使用)	12000 マイル 24ヶ月
ダイムラーベンツ (Daimler-Benz)	A エンジン排気方式 (混合気調整と排気管の位置 関係) B 空燃比調整方式 (空燃比調整装置の位置関係 と排気管の形状)	A (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整 B (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1000 マイルで点検 1000 マイルで点検 (点検時には電圧式 点検装置を使用)	12000 マイル 24ヶ月
インターナショナル ハーベスター (International Harvester Co.)	A エンジン排気方式 (混合気調整と排気管の位置 関係) B 空燃比調整方式 (空燃比調整装置の位置関係 と排気管の形状)	A (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整 B (1) 混合気調整、アイドリング調整 (2) アイドリング調整 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1000 マイルで点検 1000 マイルで点検 (点検時には電圧式 点検装置を使用)	12000 マイル 24ヶ月
トヨタ自動車	空燃比調整方式	(1) エンジン排気管の形状 (2) シリンドラヘッドの形状 (3) 混合気調整、アイドリング調整 (4) 混合気調整	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1000 マイルで点検 1000 マイルで点検 (点検時には電圧式 点検装置を使用)	12000 マイル 24ヶ月

第2節 点火改良装置による排気成分の排出変化

2-1 研究目的

自動車からの有害成分の排出減少、または防止方法は基本的につきのように大別される。すなわち、吸入された混合気の燃焼状態を完全燃焼側に近づけて未燃焼成分の排出を減少させる場合と燃焼生成物を除去する場合である。前者には気化器や燃料系の改良で混合比を常に理論値、あるいは希薄側とする燃料の噴射、エンジン機構の改造、燃料の改善、燃焼室内の燃焼反応の促進などが挙げられる。後者には触媒酸化、排気循環やアフターバーナーによる再燃焼、エキゾーストマニホールドへ空気の注入、吸着剤や吸収剤による除去などが挙げられるが、前節で述べたように従来の研究は後者に属するものが多い。¹⁰³⁾ これらの防止装置は実用上多くの問題点がみられ、⁷⁸⁾ カリフォルニアで認可されているのもその例外ではない。⁷⁸⁾

一方、点火栓の放電特性の改善による燃料の完全燃焼を目的として開発された点火改良装置は取扱いがきわめて簡単で、エンジン機構の改造が必要でないことなどの点から有利とみられ、本節ではその使用効果について検討した。^{103) ~ 106)}

2-2 研究方法

2-2-1 使用自動車

第三章で排気成分の測定を行なったプリンススカイライン、1500cc、1961年型車2台（既走行距離、約7万kmと約17万km）、同1964年型車（既走行距離、約2万km）、同1967年型車（既走行距離、約500km）を使用し、燃料にはエッソガソリン（オクタン価；78~85）を用いた。

2-2-2 実験条件

実験車（1961年型車）のアイドル、定速、加速、および減速条件について測定し、各速度条件は第三章と同様である。また、1964年型車および1967年型車についてはシャーシーダイナモメーターで、米国のテスト方法⁴⁰⁾により測定した。

2-2-3 測定項目ならびに方法

第三章と同様の方法で燃料消費率(g/ps·h)、気液率、吸入空気量(m^3/min)、排出ガス量(m^3/min)、排気温度($^{\circ}\text{C}$)、インテークマニホールドバキウム(cmHg)、排気中の無機ガス(CO 、 CO_2 、 H_2 、 O_2)、ならびに $\text{C}_1 \sim \text{C}_6$ 炭化水素を測定した。

2-3 点火改良装置の概要

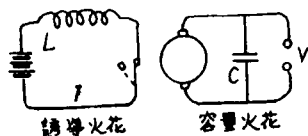
2-3-1 混合気の点火燃焼機構

ガソリン自動車用のエンジンでは、シリンダーに吸入された燃料が蓄電池点火法で燃焼される。すなわち、圧縮された混合気を電気火花で点火し、瞬間的に燃焼、または爆発させて動力源とする。蓄電池点火系の概略¹⁰⁷⁾は図4-15に示す。点火コイル、配電器、断続器、コンデンサー、点火時期調整装置、点火プラグ、および蓄電池から形成される。蓄電池(6または12V)から点火コイルの一次側に流れる電流(1~2A)が、カムで開閉される断続器で急に切断されると一次コイル内には自己感応により150V内外の電圧を生じ、二次コイルには高圧(1,000~1,400V)の感応電流(1~1.5mA)を生じる。この電流を配電器で各シリンダーの点火プラグに導くと、点火栓の電極に高圧電流が導かれて電気火花を生じ、みずから伝播する能力のある火焰を生ぜしめる。火花放電でほとんど瞬間的に生じる火焰核が、みずから伝播する能力のある火焰にまで成長する現象、すなわち過渡的火焰伝播で、この場合には放電による活性化の問題も存在する。¹⁰⁸⁾ 火花および混合気に火焰核の成長を促すのに十分な条件が備わっていると点火は可能であるがそうでないと火焰核は冷却して消滅し、点火は不能となる。現在の火花点火機関に用いられる火花¹⁰⁹⁾は点火コイルで発生させる衝撃電圧を点火栓の固定火花間隙に加えてえられる火花で、自己誘導の電磁エネルギーの放出による誘導火花

や、蓄電器の静電エネルギーの放出による容量放電とは異なる。すなわち、まず容量火花とおなじ性質の放電がおり、つづいて誘導火花とおなじ性質の放電がおこる合成火花¹¹⁰⁾

と呼ばれる。合成火花による点火は単純火花による場合はやや異なり、同じ混合気点火するのに容量火花のエネルギーは誘導火花のエネルギーにくらべてはるかに少なくても十分であるが、合成火花のエネルギー配分は容量成分にかたよせても点火能力は向上せず、むしろ反対である。一般に、合成火花の点火能力の向上のためにはそのエネルギー配分を容量成分よりも誘導成分にかたよせるのがよいが、火花間隙が消焰距離にちかく、電極の冷却作用が弱い場合は例外であると述べられている。¹⁰⁹⁾ 容量放電および誘導放電の回路図¹⁰⁹⁾ は図4-16に示す。混合気は

図4-16 代表的な2種類の火花¹⁰⁹⁾



着火による緩慢燃焼冷焰につづいて、

火炎伝播現象、熱焰の発生という燃焼過程を示す。¹¹¹⁾ 着火した燃料分子がその燃焼熱を伝導と輻射で隣接分子に伝えてこれを加熱、燃焼させ、同時にガス分子の熱運動速度が大きくなるのでこの部分の圧力が高

まって膨脹する。着火してからごく短時間にこのような作用が連続して起こると、火炎伝播現象が起こる。普通、ガソリン機関の火炎伝播速度は $10 \sim 37 \text{ m/sec}$ で、平均は 20 m/sec くらいであるが、エンジンの回転数が増加するとシリンダー内のガスの渦流が大きくなって、火炎伝播速度も著しく増大する。¹¹²⁾ 混合ガスの燃焼にともなう燃焼波による圧力波が生成されて点火時の圧力の約3.5倍に増加する。ガソリン機関の正常燃焼過程を模式図¹¹³⁾ で示すと図4-17のとおりである。燃焼過程は図A B間の第一期

(遅れ期間、感応期間)と、図B C間の第二期(主燃焼期間、高燃焼速度期間)に分けられ、第一期は火花が飛んでから圧力上昇が認められるまでの期間で、この間に炎核が形成されて自己伝播炎に発達していく酸化反応の中間状態である。火炎が進行していくのに壁近くの境界層を通過する間は速度が小さく、この間の燃焼質量はきわめて小さいために圧力上昇は起こらない。この期間では層流炎であるから炎温度が高いほど炎速度は大きく、混合比に影響されることが大きい。第二期の熱焰は酸化反応の最終状態であり、炎が境界層を

通り抜けると乱れにより急速にその速度を増し、炎面は拡大され圧力上昇が始まる。圧力が最高に達しても熱発生はまだ完全には終らず、この期間の炎速度は混合比にたいして第一期ほど敏感でなく、主として乱れの影響を受ける。第二期中に燃焼しきれなかったものの一部はピストンの下降により温度、圧力が低下しながらわずかに燃焼するが、この後燃え期間¹¹⁴⁾ は火炎伝播速度と熱の発生が小さく、ガソリンの性質や点火時期などの影響を受ける。

2-3-2 点火改良装置の概略と放電特性

本研究に使用した点火改良装置の概略は図4-18に示す。点火コイルと配電器の間にこの装置を設置して、点火栓へ流れる二次回路の電氣的動特性の変化により点火能力を向上しようとするもので、電氣的等価回路は図4-19に示す。

図4-15 蓄電池式点火法配線図¹⁰⁷⁾

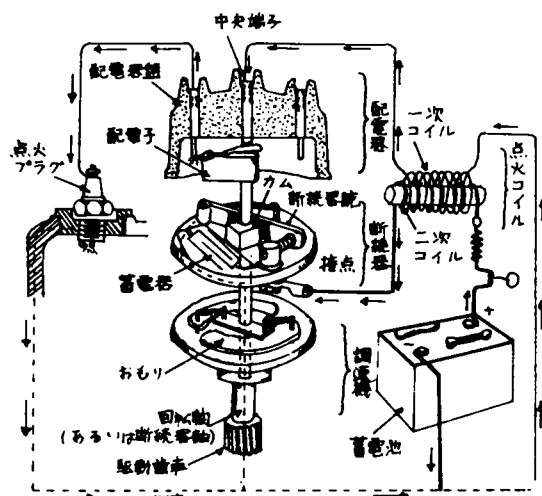
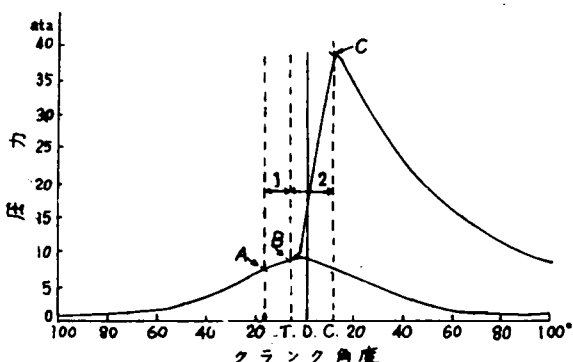


図4-17 ガソリン機関における燃焼



並列静電容量をもつ誘電体内ギャップ放電¹¹⁵⁾を利用した装置で、電気的特性の変化については稲葉¹¹⁶⁾がつぎのように述べた。この装置を付けた場合に、点火プラグ端子間の電圧を高周波用高低抗分圧によりシンクロスコープを用いて観測した電圧波形と、

通常の場合の波形を比較すると図4-20(a)

(b)のとおりである。通常の場合(a)の放電時間は約2mSで、パルス状の火花放電からただちにアーク放電に移行し、その推移は比較的単純である。パルス状の放電は主として回路の静電エネルギーによ

る容量放電で、アーク放電は回路の電磁エネルギーによる誘導放電である。点火改良装置(b)では、放電継続時間が約1mSと短かく、非常に数多くの容量放電が発生している。放電の初期区間をさらに拡大すると図4-21(a)(b)のとおりで、通常の場合(a)には点火プラグの端子間電圧の立ち上がり時間は約45 μ S、波高値は約7,000Vで、火花放電時間は10 μ S程度である。点火改良装置の場合(b)では立ち上がり時間が30 μ Sで、急速に高電圧アーク放電に近い強力な火花放電が30~50 μ S継続する。このような放電初期で火花成分が異なるから、最大電圧の比較には大きな意味がなく、通常の場合と装置を付けた場合との電圧には差がない。また、点火コイルの一次側端子電圧波形の観測から、通常の場合には2種の減衰振動成分がはっきりみられるが点火改良装置では高周波成分の減衰が不規則となり、点火回路の電気的特性がかなり大きく変化している。このことは点火回路の一次側、二次側電流波形からもみとめられると述べた。さらに、点火改良装置の場合には火花の容量成分が多く通常の場合には誘導成分が多いという相違が混合

図4-18 点火改良装置の概略

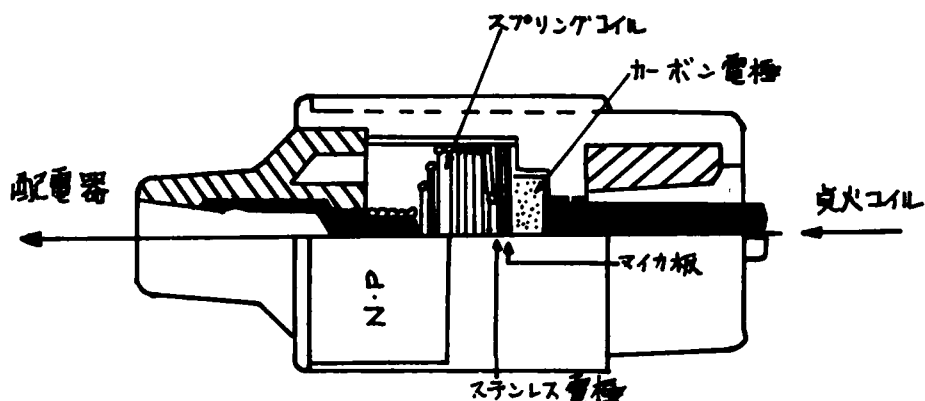
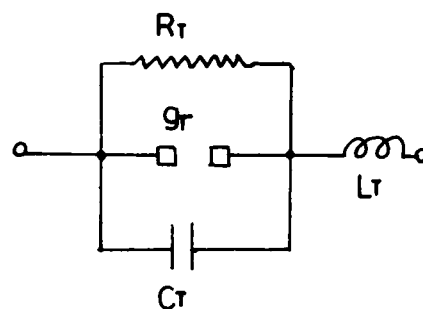
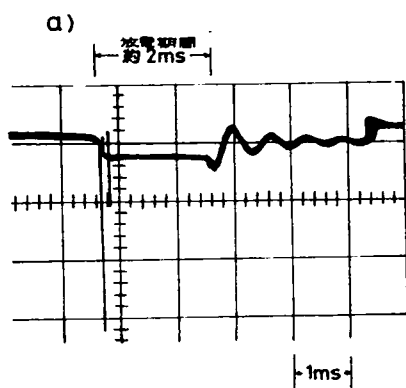


図4-19 点火改良装置回路図¹¹⁵⁾

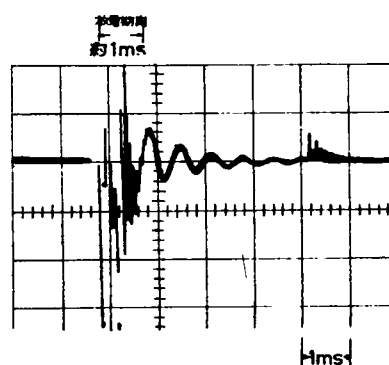


R_T : 絶縁抵抗
 G_T : 短ギャップ
 C_T : 静電容量
 L_T : コイルインダクタンス

図4-20 点火改良装置の取り付けによる放電波形の相違¹¹⁵⁾ a) 通常

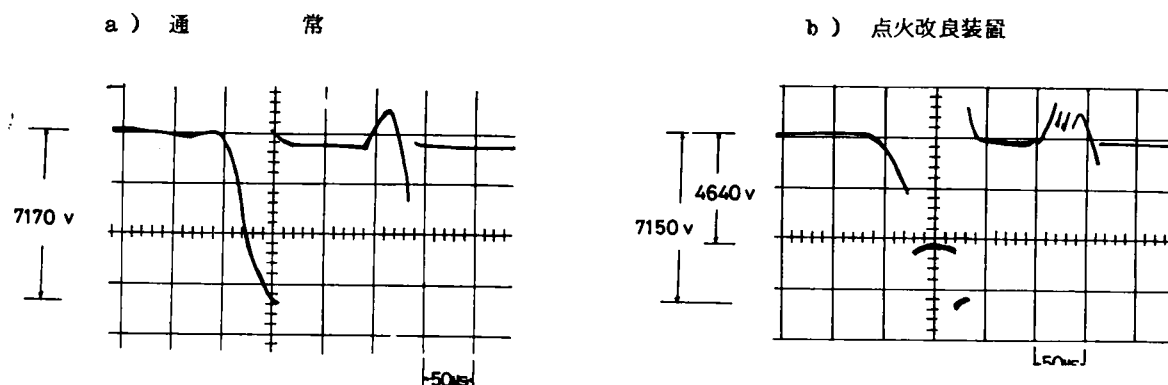


b) 点火改良装置



気の燃焼に与える効果については、大略つぎのように述べた。点火に主として役立つのは放電初期の区間である¹¹⁹⁾から、容量放電が点火能力に関係する割合は誘導放電のそれより大きいとみられる。電気火花により混合気がイオン化され、

図4-21 点火プラグ電圧波形(拡大)



同時に温度が上昇し、化学反応によって発生する熱量が放熱熱量より大きければ燃の伝播が起こるといふ点火機構¹¹⁴⁾からみて、放電によって混合気が活性化するには放電初期段階が重要な役割を演じることは当然である。それゆえ、点火改良装置による放電初期の強力な火花放電がきわめて有利である。点火改良装置の場合に放電初期区間の高電圧アーク放電とみられる部分は高電圧グロー放電で、沿面放電、ボイド放電と相似の特性¹⁰⁹⁾を示し、放電初期に放電電流が集中して従来の形式にくらべて初期点火エネルギーが大である。放電中期から後期に数多く発生するマルチプルスパークは汚れた点火プラグにおいても強い電源を与えると述べた。

本研究では、点火改良装置を実用車に付けた場合の効果を種々の運転条件について検討した。実際には、この装置を付けるとアイドル時のエンジンの回転数が顕著に上昇するからアイドルアジャストメントスクリーとアイドルアジャスティングスクリーの開度調整、およびインテークマニホールドバキュームからエンジンの回転数を600rpm、マニホールドバキュームを50cmHgに調整したのち、各測定を行なった。

2-4 測定成績ならびに考察

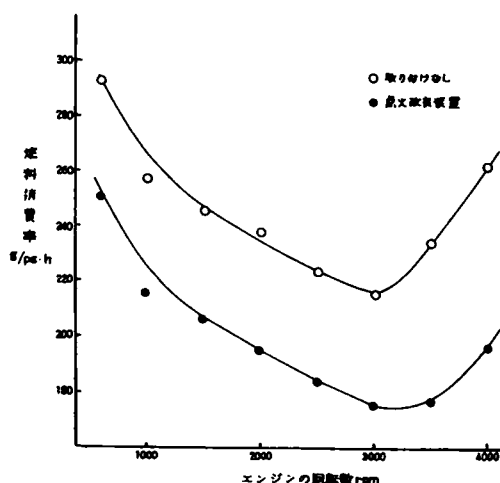
2-4-1 点火改良装置によるアイドル時の効果

1. 燃料消費率、排気温度、および排出ガス量

実験車(プリンススカイライン, 1,500cc, 1961年型車)のアイドル時(600~4,000rpm)の燃料消費率($g/ps \cdot h$)を図4-22に示す。通常の場合(第三章)は600~2,500rpmで定格時¹⁵⁾と大差なく、3,000rpmで最小値(約216 $g/ps \cdot h$)を示し、3,500~4,000rpmでは定格値(約242~248 $g/ps \cdot h$)を上回る。点火改良装置の場合もエンジンの回転数と燃料消費率との関係は全く同様で、通常の場合にくらべて燃料消費率が7.45~8.56%(平均8.05%)に低下する。

点火改良装置を付けた場合のアイドル時の吸排気量¹¹⁴⁾容積効率¹¹⁸⁾空気過剰率¹⁰⁹⁾気液率¹⁰⁸⁾排気温度¹¹⁴⁾ならびにインテークマニホールドバキュームエンジンの回転数について表4-8に示す。エンジンの容積効率は一般に78~87%¹⁰⁸⁾とされているが、実験車のアイドル時は3.32~4.93%, 通常の場合4.47

図4-22 エンジンの回転数と燃料消費率



～5.5.0%)と非常に低い。気液率は8.3～12.1で、通常の場合(7.3～10.4)にくらべてかなり理論比(14.8)に近い。このことは、吸入空気量は点火改良装置の有無について大差はないが、装置を付けた場合にはアイドル調整ポイントスクリーンの開度が小さくなり燃料量が減少するためである。

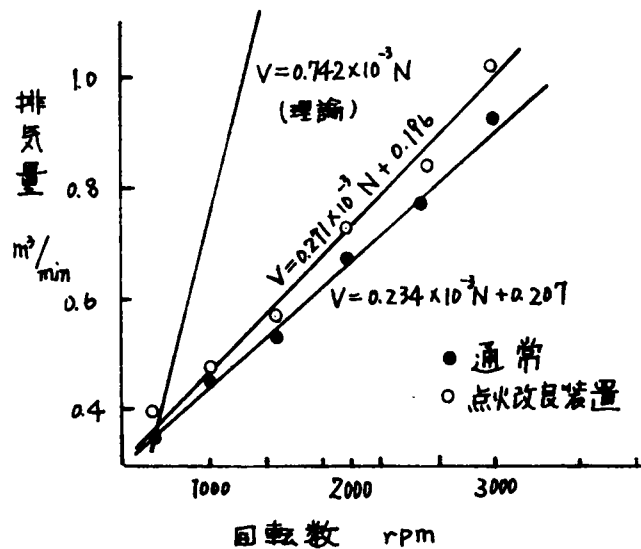
表4-8 アイドル時の特性

回転数 rpm	吸入空気量 m³/min	燃料消費率 g/kWh	燃費効率 %	気液率	空気過剰率	排気温度 ℃	排気量 m³/min	マニホールドバキウム cmHg
600	0.143	251.3	33.2	8.3	0.56	44	0.387	50—52
1000	0.341	216.3	49.3	12.1	0.82	57	0.486	48—50
1500	0.491	—	—	—	—	—	0.577	46—50
2000	0.650	195.7	44.8	11.6	0.78	85	0.729	46—50
2500	0.769	—	—	—	—	—	0.820	45—48
3000	0.903	175.6	41.5	11.5	0.78	185	1.019	43—48
3500	—	177.5	47.7	10.2	0.69	—	—	40—45
4000	1.411	196.0	—	—	—	280	1.310	40—43

エキゾーストパイプ出口での排気温度(44～280℃)は回転数とともに急上昇するが、点火改良装置の有無による明らかな違いはない。装置を付けるとシリンダー内での混合気の燃焼状態が改善され排気温度が上昇する¹⁰⁸⁾と考えられるが、アイドル時の気液率がかなり濃厚燃料側であるためにサイクルピーク温度が低い⁹¹⁾こと、およびエキゾースマニホールド、マフラーを通る間に放熱冷却¹¹⁹⁾されるために顕著な違いがみられない。また、排気口での排出ガスの流量を標準状態

(15℃, 1 atm)に換算して、エンジンの回転数について図4-23に示す。点火改良装置の場合には600rpmから回転数とともに直線的に増加し、通常の場合(0.360～1.242 m³/min)にくらべて増加率は5.6～10.9%(平均7.6%)を示す。混合気の燃焼状態が向上し、燃料のガス化が増加して排気ガスの排出量が増加したものと考えられる。

図4-23 アイドル時の運転条件による排気量(15℃換算)



2. 無機ガス成分(CO, CO₂, O₂, H₂)

アイドル時(走行停止)にアクセルペダル(スロットルバルブ)を踏み込んで、エンジンの回転数を600～4,000rpmとした際の、排気の無機ガス成分を回転数について図4-24に示す。CO濃度は600rpm(3.3%)から、回転数の上昇につれて減少し、2,500rpmで最小値(1.2%)となり、4,000rpm(2.0%)ではやや増加

する。H₂濃度(0.3～1.2%)およびO₂濃度(1.8～5.6%)も同様の傾向を示し、CO₂濃度は600rpm(5.1%)でもっとも小さく、回転数とともに増加して4,000rpmでは12.5%を示す。Hurn¹²⁰⁾はアイドル時にはCO₂ 8.8～10.1%, CO 6.7～7.8%, H₂ 2.8～3.3%, O₂ 0.6～0.7%と述べたが、エンジン条件が明らかでないから厳密には比較できない。各成分の濃度を通常の場合とくらべると、COは4.4～5.6.3%(平均52.0%), H₂は3.8.5～6.9.2%(平均51.0%), O₂は2.7.4～4.8.7%(平均3.6.9%)と、かなり大巾な濃度減少を示し、CO₂は3.0.8～5.7.8%(平均3.9.1%)の増加となる。すなわち、排気中の未利用O₂と不完全燃焼成分のCOおよびH₂濃度が顕著に減少し、完全燃焼成分のCO₂濃度が著しく増加する。このことは点火改良装置を付けたことにより

混合気の燃焼状態が好転したことを示す。

点火改良装置を付けた場合の CO 、 CO_2 、 H_2 濃度と排出ガス量から排出重量を求めると表4-9のようである。

図4-24 点火改良装置を取り付けた場合のエンジ

ンの回転数と無機ガス成分の濃度（アイドル時）

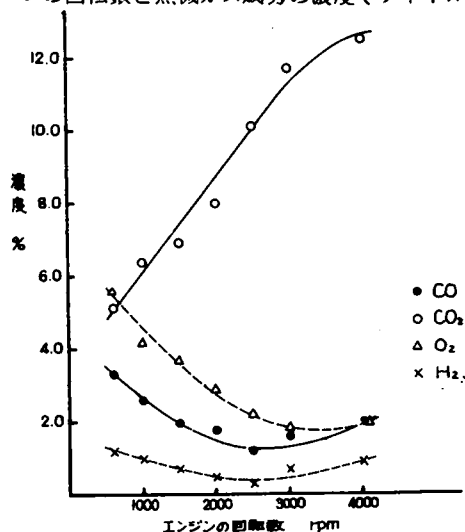


表4-9 点火改良装置によるアイドル時

の排出重量

回転数 rpm	CO	CO ₂	H ₂
600	957.6	232.64	2.46
1000	948.0	365.76	2.68
1500	865.8	458.48	2.16
2000	784.0	685.26	1.92
2500	732.0	973.38	1.32
3000	1,222.8	1,602.2	3.78
4000	1,965.0	1,926.20	62.6

CO 排出量は600 rpm (約960 g/h) から、回転数の上昇につれて減少し、2,500 rpmで最小(約740 g/h)となり、さらに回転数が増すと排出量も増大する。 H_2 排出量もほぼ同様の傾向を示し、 CO_2 排出量は、回転数の上昇につれて排気中の濃度が増大するために急増を示す。 CO 濃度は回転数600~2,500 rpmで減少するが排出ガス量が回転数とともに増大するために、この間での排出絶対量は大きな差がない。さらに、回転数が増すと、濃度も排出ガス量とともに増大して排出量が急増する。通常の場合とくらべると、点火改良装置を付けた場合の CO 排出量は4.71~6.03% (平均5.49%)に、 H_2 排出量は2.90~6.37% (平均5.02%)に低下し、 CO_2 排出量は14.04~16.98% (平均15.47%)と、かなり大巾な増加を示す。

3. $\text{C}_1 \sim \text{C}_6$ 炭化水素成分

点火改良装置を付けた場合の排気炭化水素の濃度は表4-10に示す。炭化水素合計は600 rpm (約2,300 ppm) から回転数の上昇につれて3,000 rpmでの約930 ppmまで減少し、4,000 rpm (約1,000 ppm) でやや増加する。エンジンの回転数と炭化水素合計の関係は図4-25のとおりで、図には通常の場合についても示す。通常の場合には600 rpmで約5,000 ppmと非常に高濃度を示し、回転数の上昇につれて両者とも減少するが、点火改良装置の場合にくらべてかなり高い。回転数3,000 rpmの値が600 rpmでの濃度にたいして示す割合は、通常の場合が約31%で、点火改良装置の場合は約41%と回転数による減少傾向がゆるやかである。

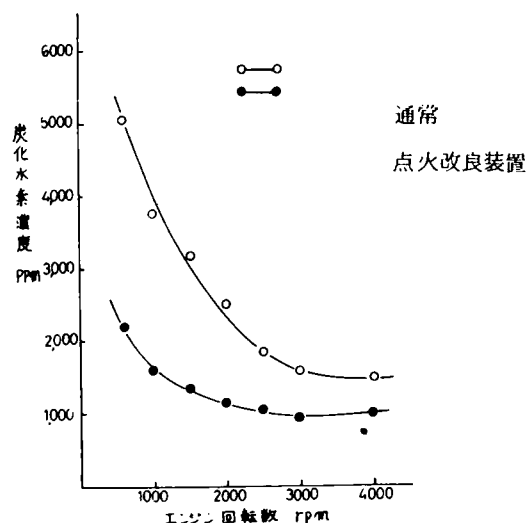
検出成分を $\text{C}_1 \sim \text{C}_4$ と $\text{C}_5 \sim \text{C}_6$ 。パラフィン、オレフィン、アセチレンおよびジオレフィンに分類して、通常の場合の各成分の値にたいする変化率を各回転数について求めた。回転数および成分区で若干異なるが、炭化水素合計では4.22~6.72% (平均5.21%)で、アイドルについての平均では $\text{C}_1 \sim \text{C}_4$ 。パラフィン5.89%、 $\text{C}_5 \sim \text{C}_6$ 。パラフィン5.02%、オレフィン4.19%、ジオレフィン4.13%、アセチレンは5.94%と、いずれも大巾な減少を示す。アセチレンは4,000 rpm (103.2 ppm) で通常の場合(86.5 ppm)よりやや高い濃度を示す。また、点火改良装置による炭化水素の各成分の減少率も若干異なり、propane, 2,2diMe-propane, 3Me-pentane, 2Me-pentane, cis-2-butene, trans-2-butene およびMe-acetylene の減少率は6.63~7.64%と比較的大である。

炭化水素の構成割合(平均)を通常の場合とくらべると、 $\text{C}_1 \sim \text{C}_4$ 。パラフィン; 41.2% (37.2%)、 $\text{C}_5 \sim \text{C}_6$ 。パラフィン; 25.1% (26.0%)、オレフィン; 23.2% (26.2%)、アセチレン; 8.9% (8.5%)、ジオレフィン; 1.5% (2.0%)で、()内の通常の場合(平均)と大差がなく、アイドル時の炭化水素の構成には点火改良装置の影響が小さい。すなわち、特定の成分を減少させるのではなく炭化水素全体の濃度を低下させる効果を示す。個々の成分の平均含有比についても、点火改良装置の場合にはmethane 16.8% (17.4%)、n-butane 19.0%

表4-10 点火改良装置によるアイドル時の炭化水素濃度 ppm

成分	600	1000	1500	2000	2500	3000	4000
methane	454.9	167.7	185.4	232.9	181.7	170.4	198.8
ethane	40.4	29.2	20.7	18.8	13.2	11.8	13.2
propane	10.3	9.3	6.5	5.6	7.5	6.6	13.1
n-butane	349.5	429.8	283.0	260.3	183.4	149.8	143.3
i-butane	45.7	55.6	41.8	37.8	44.8	39.3	41.8
n-pentane	99.8	134.4	144.1	95.7	75.3	71.7	73.1
i-pentane	149.9	92.3	88.7	103.4	96.4	65.2	75.9
2,2-dimethylpropane	49.9	32.3	28.7	23.4	16.4	15.0	15.9
n-hexane	60.0	46.2	40.8	32.3	28.8	25.6	29.4
3-methylpentane	37.8	43.2	41.7	39.0	24.9	16.5	14.2
2-methylpentane	37.7	45.0	24.9	25.8	24.0	24.9	26.7
2,2-dimethylbutane	19.7	13.3	13.6	12.6	11.0	10.8	10.0
ethylene	300.9	121.1	126.6	118.3	157.8	74.0	132.1
propylene	125.4	98.0	82.0	86.6	59.2	53.3	63.9
butene-1	32.5	23.2	40.6	23.0	23.2	14.4	8.1
i-butylene	23.2	28.1	23.4	23.0	13.9	13.2	13.7
cis-2-butene	23.6	17.8	11.5	10.7	7.4	6.2	5.6
trans-2-butene	21.7	19.0	13.6	15.6	9.5	7.5	6.8
acetylene	355.0	749.3	85.2	80.7	71.0	72.7	101.2
Me-acetylene	28.5	14.6	9.0	5.5	2.8	2.6	2.0
butadiene 1,3	12.2	16.6	15.5	12.2	11.0	9.9	8.6
propadiene 1,3	19.0	15.0	8.9	6.3	5.2	4.2	2.5
合計	2296.7	1601.0	1336.2	1269.5	1068.2	932.6	999.9

図4-25 エンジンの回転数による炭化水素合計の変化



14.8%), ethylene 11.8%(12.7%), acetylene 8.9%(7.6%), n-pentane と i-pentane 7.2~7.6%(54~63%), n-butane 6.6%(14.8%), propylene 6.0%(6.0%) が比較的大きい割合を占め、()内の通常の場合とは n-butane を除いて大差はない。

各成分の濃度と排出ガス量から求めた排出重量をエンジンの回転数について表4-11に示す。表には供給燃料量(g/h)と炭化水素の排出重量比をも示す。炭化水素の排出量(g/h)は回転数600~1,500rpm(約99~100g/h)ではほとんど差がなく、さらに回転数が上昇するとやや増加する。回転数が上昇すると炭化水素濃度は大

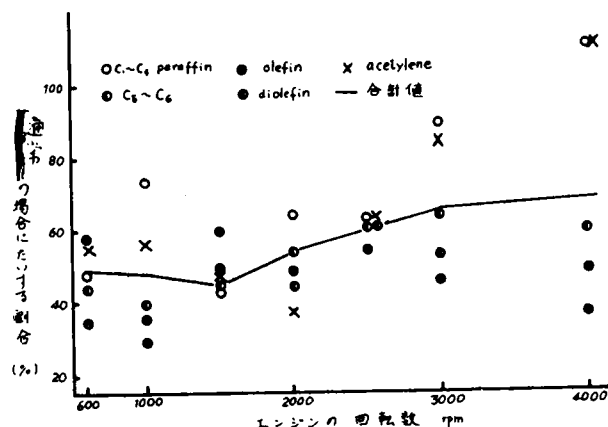
表4-11 炭化水素の排出量と供給燃料にたいする重量比 (アイドル時, 点火改良装置)

成分	600	1000	1500	2000	2500	3000	4000
排出量 g/h	99.9	99.4	97.6	110.9	103.8	114.6	147.6
供給燃料 g/h	1336.9	2292.8	3386.6	4364.1	5086.2	6073.8	9192.4
排出重量 wt%	7.50	4.35	2.88	2.54	2.04	1.84	1.61

巾に減少するが、排出ガス量は大きく増大するから時間あたりの排出絶対量(重量)が増える。炭化水素の重量別構成(平均値)はC₁~C₄パラフィン34.9%(28.4%), C₅~C₆パラフィン41.2%(42.5%), オレフィン26.6%(21.8%) ジオレフィン1.7%(2.1%), アセチレン5.8%(5.1%)で、()内の通常の場合と大差がない。

各成分区ごとに点火改良装置を付けた場合の排出量が通常の排出量にたいする比率を回転数について図4-26に示す。成分の分類で若干の違いがみられ、とくに回転数3,000~4,000rpmでは、C₁~C₄パラフィン、アセチレンの排出量が通常の場合よりも大である。実線の合計値については4.51~6.68%(平均5.60%)を示し、点火改良装置を付けたことによって炭化水素の排出量が約3~5.4%減少することを示す。さらに、吸入燃料重量にたいする排出重量比については、点火改良装置が回転数600rpmの7.50wt%(132.4%)から1,500rpmでの2.88wt%(5.36%)まで大きく減少し、4,000rpmでは1.61wt%(1.75%)を示す。()内は通常の場合の値で、低速回転時には大きなへだた

図4-26 点火改良装置炭化水素の排出量の変化 (アイドル時)



たりを示す。点火改良装置による重量比の通常

にたいする減少率は600rpmで約43%，2,000rpmで約33%，4,000rpmで約8%を示し，エンジンの低速回転時に取付け効果が顕著であることを示す。

2-4-2 点火改良装置による定速時の効果

1. 燃料消費率，排出ガス量，ならびに気液率

実験車（プリンス）を車速10～80km/hで定速走行させた場合の燃料消費率（g/ps・h），エンジンの回転数（rpm），マニホールドバキウム（cmHg），容積効率（%），排気ガス量（m³/min），空気過剰率，排気温度（℃），気液率を表4-12に示す。表中の走行速度はエンジンの回転数と各トランスミッションの減速歯車比から求めた。¹¹⁹⁾（第三章）

点火改良装置を付けた場合の燃料消費率は，トランスミッションの第一速（10～20km/h）で通常（約155～196g/ps・h）の約73～78%に減少する。第二速（15～30km/h）では通常（約179～183g/ps・h）の約78～87%，第三速（20～40km/h）では通常（約194～249g/ps・h）の約78～88%に減少し，トランスミッションの位置によって減少率には大差がない。第四速（30～80km/h）での燃料消費率は30km/hから車速の増大につれて減少し，50km/hでもっとも小さい値となり，さらに車速が増すと増大し，車速による燃料消費率の増減の傾向は通常の場合と大差はない。通常の第四

表4-12 点火改良装置による定速時の特性

トランスミッション	走行速度 km/h	マニホールド バキウム cmHg	エンジン 回転数 rpm	燃料 消費率 g/ps-h	排気 ガス量 m ³ /min	容積 効率 %	空気 過剰率	排気 温度 ℃
第一速	11.7	48-55	1800	132.0	0.626	44.5	13.8	93
	14.9	45-50	2300	119.0	0.719	41.7	15.0	101
	19.5	48-52	3000	152.4	0.786	55.0	16.7	109
第二速	16.1	44-52	1700	146.3	0.684	49.1	13.9	94
	19.9	47-52	2100	159.6	0.764	52.8	13.2	99
	24.6	45-52	2600	151.8	0.821	69.4	13.5	91
第三速	29.3	47-50	3100	142.4	0.849	49.6	13.2	99
	20.5	38-47	1200	192.8	0.378	60.4	13.4	91
	25.6	40-55	1500	187.0	0.603	59.0	13.1	89
第四速	30.7	30-48	1800	190.4	0.682	49.2	14.2	96
	35.9	38-52	2100	170.7	0.747	62.1	14.6	99
	41.0	30-48	2400	165.3	0.786	61.1	14.8	100
第五速	29.9	27-55	1100	215.6	0.492	62.8	12.8	86
	35.3	30-42	1300	190.3	0.591	63.5	14.2	96
	40.7	28-38	1500	190.7	0.677	58.1	14.9	101
第六速	51.6	27-44	1900	176.2	0.802	64.5	14.9	101
	59.7	28-42	2200	193.8	1.076	71.6	14.9	101
	70.6	25-40	2600	193.3	1.246	74.5	14.6	99
第七速	81.7	20-42	3100	218.9	1.694	80.6	14.5	98

速（30～80km/h）では約223～297g/ps・hで，点火改良装置を付けるとその72.3～82.0%に低下する。この装置の取付けによる燃料消費率の減少率を全定速条件について平均すると21.2%となり，定速時に約2割の燃料節減がえられることを示す。

定速時の各車速について，燃料の消費量から求めた単位燃料量（1ℓ）あたりの走行距離¹¹⁹⁾を図4-27にトランスミッションの位置について示す。図には通常の場合も示す。点火改良装置の場合には，第一速（10～20km/h）で2.5～3.4km/ℓ，（通常；1.8～2.5km/ℓ），第二速（15～30km/h）では3.5～3.9km/ℓ（通常；2.9～3.2km/ℓ），第三速（20～40km/h）では5.4～6.0km/ℓ（通常；4.3～5.1km/ℓ），第四速（20～40km/h）では7.5～10.0km/ℓ（通常；5.5～7.3km/ℓ）を示し，トランスミッションの移動につれて増大する傾向を示す。（ ）内に示した通常の場合と車速変化による増減の傾向はほぼ同様である。各トランスミッションとも点火改良装置の場合の距離数が通常よりもかなり大である。第四速では車速30km/hの9.1km/ℓ（通常；8.4km/ℓ）から増大して，50km/hで最大値（10.0km/ℓ）を示し，さらに車速が増すと減少する。通常の場合を基準にした走行距離数の増加率（平均）は第一速35.6%，第二速22.1%，第三速23.3%，第四速39.8%と，いずれも顕著な増加を示し，総平均での増加率は30.2%となる。すなわち，燃料1ℓあたりの出力効率が点火改良装置によって約30%増大したものとみられ，燃料消費からみた実験車の経済速度は装置の有無にかかわらずほぼ50km/hである。

気化器の入口での吸入空気量，および燃料の消費量から求めた定速時の気液率は，第一速1.38～1.5.0（通常；1.0.5～1.5.0），第二速1.3.2～1.3.9（通常；1.1.1～1.2.5），第三速1.3.1～1.4.8（通常；1.0.0～1.5.8），第

四速1.28～1.49（通常9.7～16.6）で、（ ）の通常の場合よりも理論比に近づく。一般に、ガソリンエンジンの出力は気液比が1.4～1.5で最大となり、1.5

以上の混合比では出力の低下がきわめて大きい¹⁰⁹⁾

実際には混合比分布が均一でないから理論混合比よりわずかに濃いところで最大の出力がえられる¹⁰⁹⁾とされており、点火改良装置を付けると気液比が理論値（1.48）に近くなり、供給燃料の燃焼が完全燃焼側に移ってより少ない燃料量で所要の出力が確保されていることになる。

定速時の容積効率は通常の場合（5.27～8.83%）と点火改良装置の場合（4.17～8.04%）とは大差なく、ともにかなり低い。また、空気過剰率¹⁰⁷⁾は点火改良装置を付けると1.00に近ずき、供給燃料の燃焼が好転していることを示す。すなわち、通常の場合では0.71～1.12で装置を付けると0.93～1.01となる。とくに第四速の値は1.00にかなり近く、燃料の利用度が大きくなっている。定速時の排気温度は車速の増大につれて大きく上昇し、トランスミッションの位置によって、上昇勾配が大きく異なることは第三章で通常の場合について述べた。点火改良装置の場合には燃焼効率の向上から、燃焼温度も上昇する¹⁰⁸⁾とみられるがシリンダーから排気口までの間に放熱されて通常の場合と明らかな違いはみられない。インテークマニホールドの真空度は通常の場合と顕著な差異はない。実験車はエンジン各部がかなり疲労しており、バルブタイミングなどが不良化¹²¹⁾していることがみとめられた。

定速時の排出ガス量を各車速について図4-28に示す。図にはトランスミッションの位置、および通常の場合についても示す。実測排出ガス量は理論値¹⁰⁷⁾を大きく下回る。このことは実験車の容積効率がきわめて低いことや燃焼ガスの冷却凝集などによると考えられる。点火改良装置を付けると排出ガス量は通常の場合にくらべて、第一速17.7～19.6%，第二速15.2～29.8%，第三速13.2～29.0%，第四速6.3～31.8%（総平均19.4%）の増加率を示す。しかし、車速による排出ガス量の増加傾向は通常と点火改良装置とは第四速を除いて大差がない。第四速では点火改良装置の増大傾向がやや大である。通常の場合には未反応のまま排出されるガソリン微粒子が点火改良装置によって燃焼し、ガス化すると考えられる。

2. 無機ガス成分（CO，CO₂，H₂，O₂）

定速時（10～80 km/h）の無機ガス成分の成績は表4-13に示す。排気のH₂濃度は車速およびトランスミッションの位置による大差がない。CO濃度は第一速からトランスミッションのシフトにつれて低下する。第四速では30 km/hから減少して60 km/hで最低値となり、さらに高い車速では増大する。O₂も同様であるが、トランスミッションのシフトによる濃度の低下傾向が著しい。排気中のO₂は吸入された空気の未利用酸素で、低ギヤおよび低車速では吸入気の燃焼状況がよくないことを示す。一方、CO₂濃度はトランスミッションのシフトおよび車速の増大につれて

第4-27 点火改良装置による燃料1ℓあたりの走行距離数の変化（定速時）

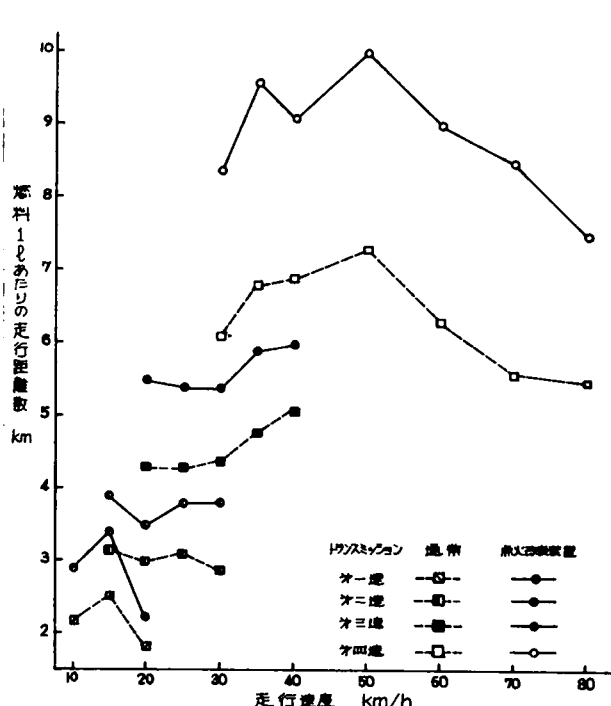
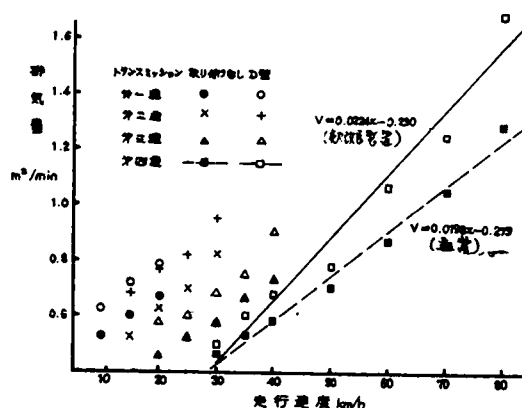


図4-28 定速時の排気ガス量



増加する傾向がみられ、第四速では60 km/hで最大値を示す。このような各成分濃度の速度条件による変化傾向は通常の場合とほとんど同様で、通常の場合には定速時のCO濃度が3.1～7.9%とかなり高い。

点火改良装置を付けた場合の濃度の減少率は車速およびトランスミッションの位置によって若干の違いがみられ、CO濃度については、第一速で約40%、第二速で約40%、第三速で約40%、第四速で約37%を示し、定速時の全平均では39.3%の減少率となる。また、CO₂濃度は定速時の全平均で36.8%の増加を示す。H₂濃度の減少率は平均45.5%、C₂は平均47.1%とほぼ半減する。

定速時の各車速での排出ガス量と各成分の濃度から求めた排出電量をCO、CO₂、H₂について示すと表4-14のとおりで、各成分の排出量はトランスミッションの位置、および車速によってかなりの相違を示す。第一速と第二速での

表4-13 点火改良装置による定速時の無機ガス成分

トランスミッション	走行速度 km/h	濃 度 %			
		H ₂	CO	CO ₂	O ₂
第一速	10	0.8	3.5	9.0	8.3
	15	0.8	3.1	8.3	3.5
	20	1.1	5.2	6.4	2.7
第二速	15	1.6	3.4	6.9	6.6
	20	1.0	3.3	7.8	5.1
	25	1.0	3.6	7.7	0.8
	30	1.1	3.1	8.4	2.6
第三速	20	1.0	3.1	7.9	5.2
	25	0.8	3.0	8.3	6.3
	30	0.9	2.2	8.5	3.1
	35	0.8	3.2	8.3	2.4
第四速	40	1.0	2.6	7.6	1.9
	30	0.9	3.9	10.2	1.0
	35	1.0	2.9	10.4	1.3
	40	0.8	2.6	10.5	0.8
	50	0.6	2.2	11.5	0.8
	60	0.5	1.4	12.4	0.6
	70	0.6	1.9	11.7	0.6
	80	0.9	2.2	11.5	0.9

表4-14 点火改良装置による定速時の無機成分排出量, g/h

成分	CO g/h	H ₂ g/h	CO ₂ g/h
第一速	10 1643.4	26.8	6640.2
	15 1671.6	30.8	7033.8
	20 3065.4	46.3	5928.0
第二速	15 1740.6	58.6	5562.6
	20 1890.6	40.9	7023.0
	25 2217.0	44.0	7450.8
	30 2206.8	55.9	9395.4
第三速	20 1344.0	31.0	5381.4
	25 1356.6	25.8	5898.6
	30 1125.0	32.9	6832.2
	35 1792.8	32.0	7307.4
	40 1768.8	48.4	8092.0
第四速	30 1439.4	23.8	5914.2
	35 1298.4	32.0	7312.6
	40 1320.0	29.0	8378.4
	50 1323.0	25.7	10870.2
	60 1129.8	28.8	15724.2
	70 1773.0	39.9	17154.0
	80 2795.4	81.7	22819.6

CO排出量は車速とともに増大し、第三速では30 km/hで最小を示す。第四速では30 km/hから減少して60 km/hで最小(約1130 g/h)となり、さらに車速が増すとCOの排出量が急増する。このような傾向は濃度とほぼ同様で、H₂排気量もほぼ同じ傾向を示すが、排出量は約24～82 g/hときわめて小さい。CO₂排出量は第一速から第三速では大差はなく、第四速では車速とともに増大を示す。

通常のCOとCO₂排出量を基準として、点火改良装置による値が示す割合を速度条件について図4-29に示す。点火改良装置を付けた効果はトランスミッションの位置によって若干異なり、COは第一速、第二速、第三速で約28%、第四速で約30%の減少率(全平均28.4%)を示す。CO₂排出量の増加率は定速時の全平均で62.0%を示し、第四速での効果がもっとも顕著である。

3. C₁～C₆炭化水素

定速時の排気の炭化水素の成績を表4-15に示す。炭化水素濃度は車速によって大きく異なり、合計値はトランスミ

ッションの第一速からシフトにつれて減少する。第四速では車速の増大につれて炭化水素値は低下する傾向を示した。車速増大による濃度変化についてはパラフィンの減少傾向がやや大で、他の成分区はほぼ同様である。通常の場合は第一速約2,690~3,420 ppm, 第二速約2,070~2,970 ppm, 第三速約1,950~2,520 ppm, 第四速約900~2,140 ppmとかなり高く、車速の増大による濃度の変化傾向には点火改良装置の場合と顕著な差異がない。

通常の場合を基準にして点火改良装置による濃度の減少率を図4-30に示す。炭化水素の減少率は第一速で約41%, 第二速で約47%, 第三速で約60%, 第四速で約57%を示し、

第四速では30 km/hでの約51%から車速の増大につれて減少率も大きくなり、80 km/hでは約67%を示す。全定速(10~80 km/h)について平均すると減少率は51.3%となり、点火改良装置を付けると排気中の炭化水素濃度がほぼ半減することがみとめられる。しかし、濃度の減少傾向は個々の成分によって若干異なり、各成分区に分類す

図4-29 点火改良装置によるCO, CO₂排出量の変化

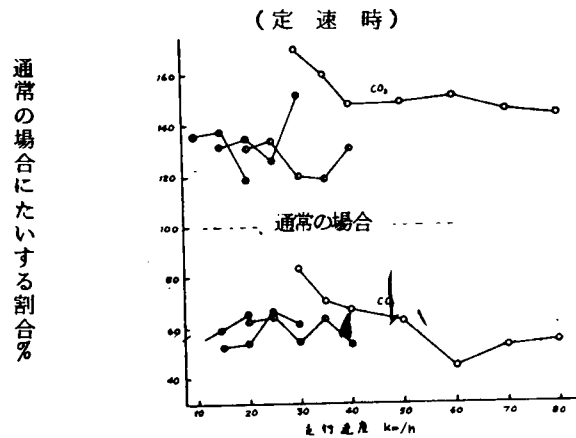


表4-15 定速時の炭化水素の成績

成分	第一速			第二速			第三速			第四速					
	10	15	20	20	25	30	20	30	40	30	40	50	60	70	80
methane	340.0	229.4	234.1	180.0	155.7	192.9	139.6	106.0	114.9	148.2	83.7	75.6	68.9	70.1	50.4
ethane	12.8	8.8	10.4	13.2	7.9	7.9	5.0	6.8	4.8	9.3	5.2	3.8	2.4	1.6	1.6
propane	7.8	6.6	7.8	6.6	2.5	2.4	2.4	2.0	2.2	3.4	1.9	1.9	0.8	0.8	0.8
i-butane	92.4	88.0	89.4	64.2	48.2	48.9	40.8	39.0	41.3	50.7	45.1	21.6	21.1	20.0	12.1
n-butane	122.6	166.0	147.1	140.8	122.6	104.8	126.4	84.8	87.2	107.6	49.6	21.1	20.2	26.6	22.2
2,2-dimethylpropane	40.8	37.2	39.1	36.8	24.6	23.7	13.8	9.7	11.0	22.6	10.5	7.2	3.8	1.9	2.2
i-pentane	168.4	148.2	141.4	126.8	115.2	123.9	126.0	96.5	96.8	121.9	95.0	69.8	63.7	44.8	38.9
n-pentane	157.8	140.8	173.1	115.8	101.2	104.3	98.8	63.1	64.6	42.9	36.7	22.6	16.3	11.3	8.9
2,2,4-trimethylbutane	89.6	68.2	78.0	62.8	62.6	54.9	32.6	22.3	24.8	47.8	28.8	24.4	21.3	15.0	14.1
3-methylpentane	126.8	126.0	163.3	118.0	61.4	68.4	42.0	28.8	38.0	41.4	38.8	16.5	10.0	7.8	6.6
3-methylpentane	108.2	99.2	106.6	112.0	84.8	63.3	78.2	41.5	33.4	26.0	31.6	24.4	21.3	14.9	16.0
n-hexane	177.4	140.4	189.6	133.4	79.6	76.1	44.8	43.2	44.6	48.4	38.4	44.6	23.0	24.6	24.2
ethylene	168.0	156.4	141.2	141.2	122.6	153.7	148.0	87.4	95.0	39.2	39.1	41.8	30.5	24.6	24.2
propylene	72.4	101.6	124.0	95.4	80.4	72.0	46.0	31.1	44.6	39.8	61.2	49.2	46.0	28.2	28.4
isobutylene	5.4	4.8	4.2	3.3	2.4	2.2	1.8	1.4	1.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
n-butylene	10.2	8.8	7.2	5.4	3.8	3.1	2.3	2.6	1.9	2.7	2.1	0.7	1.0	0.0	0.0
cis-2-butene	4.3	3.0	5.2	4.0	2.0	1.3	8.8	1.9	2.4	1.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
trans-2-butene	6.6	4.6	4.2	3.3	2.4	2.2	2.4	1.9	2.0	1.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
acetylene	132.2	140.0	221.8	170.6	142.8	166.0	122.6	88.3	84.8	101.4	77.2	60.2	44.4	32.3	28.6
methylacetylene	2.0	1.6	1.4	1.1	0.6	0.4	1.0	0.4	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
propadiene	3.0	2.0	3.1	2.4	1.8	1.2	1.6	1.0	1.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
butadiene	6.3	5.2	4.6	3.1	2.2	1.9	3.1	1.4	1.3	1.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
pentadiene	3.3	2.4	2.8	2.2	1.2	0.7	1.1	0.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合計	1777.3	1688.4	1900.1	1544.1	1197.7	1328.6	1122.5	775.9	804.2	987.7	711.4	827.4	427.8	364.8	279.8

るとC₁~C₄パラフィンおよびジオレフィンのは約61~77%と大巾に減少することを示す。C₅~C₆パラフィンおよびアセチレンの減少率は約48%で、オレフィンのは約34%と最も小さい。すなわち、C₁~C₄パラフィンおよびジオレフィンは燃料の解裂成分で、ジオレフィンはきわめて不安定な成分であることから、点火改良装置によって、未反応成分の酸化が促進されると考えられる。定速時の炭化水素濃度については、Hurr¹²⁰⁾は40~60mph(約64~97km/h)定速で約2,700~3,800 ppm, Heaton¹²²⁾が30mph(48.3km/h)で約900 ppm, Feinland¹²³⁾が40mphで約1,400 ppmを報じ、Rose¹²⁴⁾は30~50mphで約1,300~7,500 ppmと述べたが、いずれも測定条件の記載がないため厳密な比較はできない。

炭化水素の各成分値が検出合計に占める割合、すなわち、各成分の含有率は車速によって若干異なるが、定速時の全平均ではmethane, i-pentane, acetylene, ethylene, n-butane が約10~14%, n-pentane, propylene, n-hexane が約7~8%, 2-Mepentane, i-butane, 3-Mepentane, diMebutane

が約4~5%と比較的大きい割合を示す。通常の場合にはmethane が約18%と非常に大きく, propylene 約4%, i-pentane 約8%とやや小さいが, 他の成分については大差がない。炭化水素の平均構成比率は $C_1 \sim C_4$ パラフィン29.2%(35.6%), $C_5 \sim C_6$ パラフィン42.3%(40.1%), オレフィン17.2%(12.8%), アセチレン11.1%(10.9%), ジオレフィン0.4%(0.8%)で, ()内に示した通常の場合とは $C_1 \sim C_4$ パラフィンおよびオレフィンの割合がかなり小さい。Feinland¹²³⁾は40mph定速(64.4km/h)で炭化水素の構成割合はmethane 32.1%, ethane + ethylene 30.0%, acetylene 21.4%, n-butane 2.9%, i-pentane 3.1%, butadiene 1.3, 1.8%と述べており, 本測定とは大きく異なる。

定速時の排気採取において実験車速を正確に再

現させることが困難で, 炭化水素の測定値も若干の変動を示した。このため各条件における各成分の平均値について95%信頼限界値巾($n=6$)を求めた。第四速30km/hでは $C_1 \sim C_4$ パラフィン318.4±74.7ppm, $C_5 \sim C_6$ パラフィン371.4±227.6ppm, オレフィン166.4±64.1ppm, アセチレン101.4±74.7ppm, ジオレフィン2.1±1.5ppmである。

定速時の排出ガス量と炭化水素濃度から求めた排出重量は表4-16に示す。表には供給燃料にたいする炭化水素の排出重量比をも示す。炭化水素の排出量はトランスミッションのシフトにつれて減少し, 第四速では50km/hでもっとも小さい。第四速での炭化水素濃度は車速の増大につれて減少するが, 排出ガス量は反対に急増し, 排出重量が車速とともに増大する。排出重

量の構成割合は $C_1 \sim C_4$ パラフィン約20%, $C_5 \sim C_6$ パラフィン約63%, オレフィン約11%, アセチレン約5%, ジオレフィン0.4%で, 通常の場合と大差はない。通常の場合の排出量を基準にした点火改良装置を付けた場合の減少率を合計値について図

4-31に示す。トランスミッションの位置および車速によって若干の違いがみとめられるが, 定速全平均での減少率は

図4-31 点火改良装置による炭化水素排出量の減少率(%) (定速時)

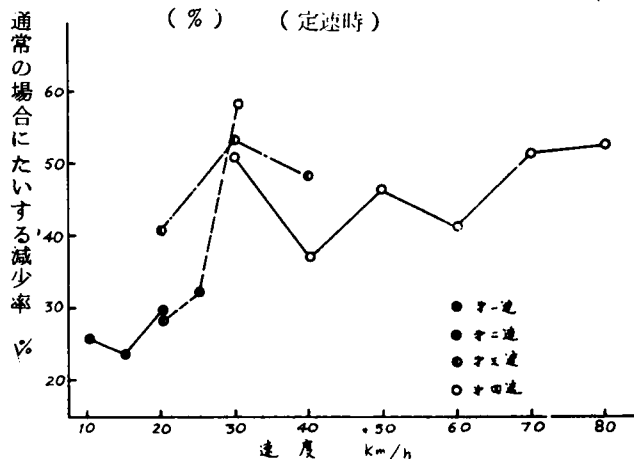


図4-30 点火改良装置の取り付けによる炭化水素濃度の減少率 (定速時)

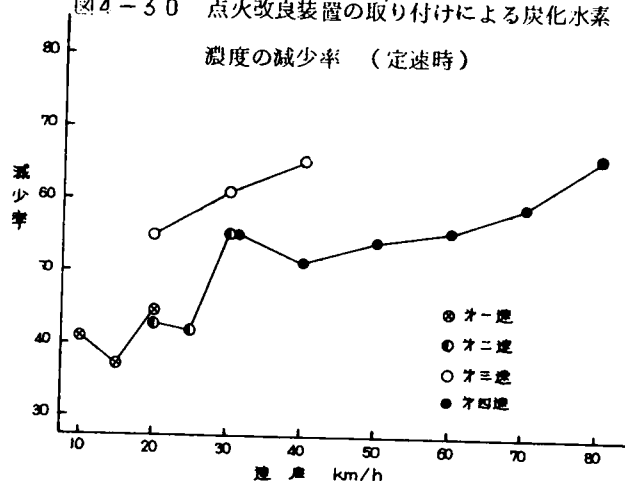


表4-16 点火改良装置を付けた場合の定速時の炭化水素排出量

分 類	1st 速		2nd 速			3rd 速			4th 速							
	10	15	20	20	25	30	20	30	40	30	40	50	60	70	80	
排出量 g/h	156.7	168.3	208.3	164.6	130.2	161.8	85.0	68.3	93.6	62.0	68.6	53.8	61.1	56.3	67.1	
供給燃料にたいする排出重量比 wt %	6.15	5.99	6.51	4.98	3.12	3.26	6.09	1.86	2.19	3.26	1.85	1.69	1.60	1.13	1.04	

40.4%を示す。各成分の分類についての平均減少率は $C_1 \sim C_4$ パラフィン約49%, $C_5 \sim C_6$ パラフィン約38%, オレフィン約21%, アセチレン約38%, ジオレフィン約67%で, $C_1 \sim C_4$ パラフィンとジオレフィンの減少率が大きくある。供給燃料にたいする炭化水素の排出重量比は点火改良装置の場合と通常の場合ともほぼ同様の傾向を示し, 第一速からトランスミッションのシフトにつれて低下する。第四速では車速の増大につれて減少し, 点火改良装置の場合は排出重量比がかなり低く, 供給燃料の利用度が大巾に向上していることを示す。また, 本測定の値はHeatonら¹²³⁾が48.3km/h定速時に1.33

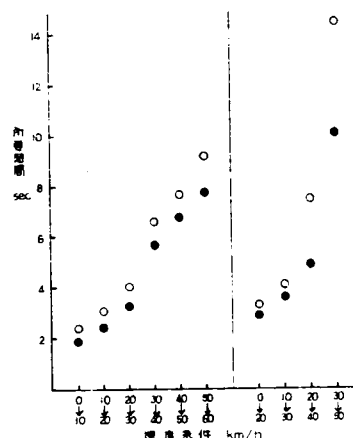
% (w t) であると述べたのと大差はない。

2-4-3 点火改良装置による加速時の効果

1. 所要時間, 燃料消費

初期速度0~50 km/hから終末速度10~60 km/hへの加速条件の所要時間は図4-32に示す。通常の場合にくらべ, 10 km/h中の加速では所要時間が11.7~26.4% (平均18.9%) 短縮され, 20 km/h中の加速では10.1~34.7% (平均20.9%) 短縮される。点火改良装置を付けると, 混合気の燃焼状態が向上し, エンジンの加速時における出力性能が全平均で19.9% 増大することになる。加速時の初期速度が増すと所要時間も増大し, その傾向は通常の場合とほぼ同様である。

図4-32 加速条件と所要時間



点火改良装置を付けた場合, 燃料消費率, 気液率, 排出ガス量は表4-17に示す。燃料消費率は初期速度0~50 km/hでの10 km/h中加速時に約320~550 g/ps・hを示し, 初期速度の増大につれて減少する。初期速度0~20 km/hでの20 km/h中加速時は約260~340 g/ps・hで通常の場合よりもかなり小さい。通常の場合にたいする燃料消費の減少率は10 km/h中の加速時は1.04~16.4% (平均13.3%) で, 20 km/h中の加速では1.9~13.4% (平均13.2%) と顕著な燃料節減を示す。すなわち, 点火改良装置により加速時に約1.3%少ない燃料で通常と同等の出力がえられ, 燃料消費の節減分だけ燃焼効率が向上していることになる。このことは気液率が通常の場合(10 km/h中加速; 8.4~11.9, 20 km/h中加速; 12.5~13.2)にくらべてかなり理論比に近いことからもうかがわれる。

表4-17 点火改良装置による加速時の特性

トランスミッション	速度条件 km/h	燃料消費 g/ps・h	気液率	排出ガス	
				速度 km/h	量 g
第一速	0→10	543.5	10.8	0.841	17.6
第二速	10→20	423.9	11.2	0.619	25.3
第三速	20→30	548.6	12.4	0.731	40.0
第四速	30→40	430.2	12.2	0.744	70.3
	40→50	373.1	13.3	0.786	89.1
	50→60	324.2	13.8	0.893	116.1
第一速	0→20	289.2	14.0	0.685	33.7
第二速	10→30	260.5	13.6	0.864	51.8
第三速	20→40	289.9	13.9	0.814	66.4
第四速	30→50	340.5	14.3	0.730	127.8

加速時のマニホールドバキウムおよび排気温度には点火改良装置と通常の場合とによる明らかな違いはない。排出ガス量は通常の場合よりも2.0~29.7% (平均12.8%) 減少した。点火改良装置の場合には加速所要時間が約20%も短縮されるため, 排出ガスの流速(m^3/min)は通常の場合よりも平均6.8%増加し, 燃焼によるガス化の促進を示す。

2. 無機ガス成分(CO , CO_2 , H_2 , O_2)

点火改良装置による加速時の無機ガス成分の成績は表4-18に示す。通常の場合(CO 2.9~8.0%, O_2 2.0~5.1%, H_2 0.3~0.7%, CO_2 6.7~12.2%)にくらべて CO , O_2 および H_2 濃度が低く, CO_2 濃度は高い。点火改良装置による濃度の変化率を図4-33に示す。 CO , H_2 および O_2 濃度の減少率と CO_2 濃度の増加率は加速条件によつて若干異なるが, CO の減少率は約10~45% (平均19.8%), H_2 の減少率は約17~67% (平均40.5%), O_2 の減少率は約27~42% (平均43.1%) と顕著に濃度の減少を示す。 CO_2 濃度は約5~36% (平均16.0%) の増加を示す。

各成分の濃度と排出ガス量から求めた加速期間での排出重量は点火改良装置の場合に CO 1.16~7.99 g (1.52~11.69 g) H_2 0.01~0.03 g (0.01~0.07 g), CO_2 3.54~31.39 g (3.75~36.22 g) を示す。

いずれも加速初期速度が増すにつれて増大する。()内は通常の場合である。通常の場合にくらべると点火改良装置の場合はCO排出量が約24～42% (平均31.4%)減少しCO₂排出量は約16%の減少から約47%の増加と大きな異なりを示す。点火改良装置を付けた場合にはCO濃度が減少し、CO₂濃度が増大するが、加速時間が大巾に短縮されるためにCO₂の排出量の減少を生じる場合もある。そこで時間あたりの排出量で示すと、表4-19のとおりで、通常の場合(CO約1,470～4,560 g/h, H₂約11～27 g/h, CO₂約5,580～10,870 g/h)にくらべて、COが約16%, H₂が約38%減少する。CO₂は約28%の増大となり、加速時の不完全燃焼成分の排出が顕著に減少することを示す。

3. C₁～C₆炭化水素

点火改良装置を付けた場合の加速時の炭化水素の成績は表4-20に示す。合計1,813.4～4,526.8 ppmの炭化水素濃度が検出され、その構成割合(平均)はC₁～C₄パラフィン30.3%, C₅～C₆パラフィン33.8%オレフィン20.9%, アセチレン13.1%, ジオレフィン1.7%で、燃料成分であるC₅～C₆パラフィンがかなり大きい割合を占める。合計値は加速の初期速度が増すにつれて減少し、通常の場合に比較すると約12～18% (平均15.7%)の濃度減少を示す。検出成分の分類についての減少率はC₁～C₄パラフィン濃度が約14%, C₅～C₆パラフィンとオレフィンおよびアセチレン濃度は約16%とほぼ同様で、ジオレフィン濃度は約22%と点火改良装置による減少がもっとも大である。各成分のなかではmethaneの含量が約14%と大きく、ethyleneとacetyleneが約13%でこれにつぐ。n-hexaneの含量は約7%で、i-butane, n-butane, i-pentane, n-pentane, propyleneは約5～6%と比較的大きな値を示し、これらは通常の場合と大差がない。

炭化水素濃度と排出ガス量から求めた加速期間中の炭化水素の排出重量は表4-21に示す。表にはCO, CO₂, H₂についても示す。10 km/h中の加速時では初期速度の上昇につれて炭化水素排出量は増加し、50 km/hから60 km/hへの加速時には0 km/hから10 km/hへの加速時の約2.4倍に達する。20 km/h中の加速についても同様に加速初期速度とともに増大するが、排出量はかなり大である。排出重量の構成はC₁～C₆パラフィン約19%, C₅～C₆パラフィン約53%, アセチレン約12%, オレフィン約15%, ジオレフィン約2%で、通常の場合と大差がない。加速期間中の排出量は点火改良装置によつて減少し、通常の場合にたいする割合はトランミッションの位置および速度条件によつて若干異なる。10 km/h中の加速時では減少率が約23～34% (平均27.0%)で、20 km/h中の加速時は約15～42% (平均28.4%)を示し、ともに加速の初期速度の上昇につれて減少率が大きくなる傾向を示す。点火改良装置による全加速条件の平均減少率は27.7%となる。炭化水素の時間あたりの排出量の変化は加速時間が短くなるために速度条件によつて大差がなく、約13～22% (全

表4-18 点火改良装置による加速時の無機ガス成分

トラン ミッション	速度条件 km/h	濃度 %			
		CO	CO ₂	H ₂	O ₂
第一速	0→10	5.3	10.2	0.4	2.6
第二速	10→20	3.4	9.5	0.4	2.2
第三速	20→30	5.3	9.4	0.5	2.1
第四速	30→40	4.9	10.3	0.3	3.0
〃	40→50	5.8	9.9	0.3	2.1
〃	50→60	5.5	11.4	0.3	1.9
第一速	0→20	3.9	11.8	0.5	1.9
第二速	10→30	3.1	12.4	0.3	1.9
第三速	20→40	2.8	12.8	0.1	1.4
第四速	30→50	2.1	12.5	0.1	1.2

図4-33 点火改良装置による無機ガス濃度の変化率
(加速時)

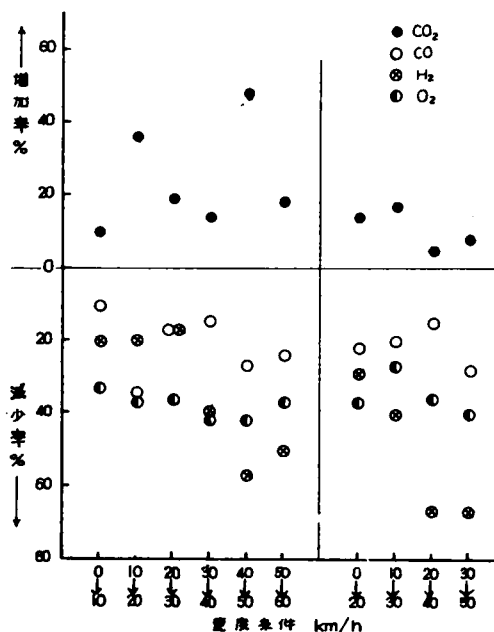


表4-19 点火改良装置による加速時の
排出量 g/h

トランスミッション ギア	速度 km/h	排出量 g/h			
		CO	H ₂	CO ₂	炭化水素
オ一速	0→10	2145.0	11.7	6505.7	533.7
オニ速	10→20	1375.0	13.4	6930.0	401.0
オ三速	20→30	2910.0	19.8	8096.7	341.9
	30→40	2730.0	11.8	9029.9	295.1
	40→50	2420.0	12.9	9169.3	225.5
	50→60	3682.5	14.5	11997.9	198.5
オ一速	0→20	2002.5	18.2	9622.7	500.1
オニ速	10→30	2010.0	13.9	12643.3	396.0
オ三速	20→40	1710.0	4.3	12268.9	338.1
オ四速	30→50	1147.5	3.7	10760.4	261.1

均17.3%)を示す。これらのことから、点火改良装置の場合には加速時間の短縮、および燃焼効率の向上による炭化水素の濃度と排出絶対量の大幅な減少がみとめられる。また、供給燃料にたいする炭化水素の排出重量比は通常の場合と大差はなく、10km/h巾の加速時では初期速度の上昇につれて低下し、20km/h巾の加速時も同様に初期速度の増大につれて減少を示す。また、これらの加速条件における排出重量比は終末速度が相当する定速時の値にくらべてかなり大きく、加速時には高出力の維持が必要なことから、定速時よりも吸入気はかなり濃厚状態となつていていることを示す。

2-4-4 点火改良装置による減速時の効果

1. 燃料消費、所要時間

点火改良装置を付けて10~60km/h定速からの減速条件について効果を測定した。減速条件はトランスミッションの位置によ

表4-20 点火改良装置による加速時の炭化水素 ppm

トランスミッション ギア	速度 km/h	炭化水素 ppm									
		オ一速 0→10	オニ速 10→20	オ三速 20→30	オ一速 0→20	オニ速 10→30	オ三速 20→40	オ四速 30→40	オ四速 40→50	オ四速 50→60	オ四速 30→50
methane		786.1	561.6	482.4	714.2	590.6	483.3	392.5	284.0	225.9	334.9
ethane		51.7	32.2	24.9	44.1	30.6	30.5	26.5	38.7	17.3	38.9
propane		45.7	15.6	17.0	22.6	24.5	12.5	9.2	6.3	4.0	8.0
i-butane		317.0	214.4	168.0	36.4	142.7	110.0	90.1	80.1	63.5	90.5
n-butane		354.7	267.5	131.4	292.6	166.7	106.4	92.1	96.2	84.5	98.2
2,2-di-Me propane		113.0	46.0	28.6	73.9	45.3	60.5	40.1	33.6	33.6	45.1
i-pentane		232.6	166.5	175.9	202.0	186.5	133.7	120.1	98.5	80.4	115.2
n-pentane		259.4	182.2	158.1	196.4	177.5	170.6	132.8	106.4	62.1	133.2
2,2-di-Me butane		99.1	100.7	116.0	145.5	123.9	90.8	86.6	78.1	70.3	61.3
2,2-di-Me butane		94.0	84.7	82.0	99.4	80.4	99.5	60.9	68.3	64.0	69.7
3-Me-pentane		80.5	84.8	81.8	143.5	100.3	114.4	96.9	66.3	54.3	77.3
3-Me-pentane		94.7	75.9	75.4	92.6	92.6	76.4	72.1	60.2	70.5	61.5
n-hexane		249.5	225.7	221.7	284.2	204.6	200.5	200.7	149.6	86.5	162.3
cyclohexane		598.4	407.5	324.9	382.9	366.5	354.9	303.2	268.5	205.5	301.6
propylene		284.8	182.7	128.6	209.6	165.4	140.9	86.1	73.3	74.2	96.6
butene-1		39.0	23.9	20.6	33.8	33.5	22.4	14.6	10.9	4.4	11.4
4-butylene		55.9	33.1	33.8	63.0	40.1	18.6	10.0	11.3	8.7	9.9
trans-2-butene		38.0	20.5	11.3	30.6	15.0	15.5	8.6	8.4	6.7	9.8
cis-2-butene		30.6	19.8	14.0	29.4	19.4	19.9	7.5	12.5	3.3	14.0
pentene-1		16.1	5.2	1.6	12.0	2.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
pentene-2		0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3-Me-butene-1		3.3	3.0	0.5	5.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2-Me-butene-1		1.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
acetylene		561.2	378.7	298.2	494.2	403.2	358.9	231.2	228.1	215.6	286.8
Meacetylene		6.4	11.0	9.0	20.5	10.8	7.0	5.0	3.0	1.0	4.4
Et acetylene		1.6	1.5	0.5	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
propadiene-1,3		49.9	29.8	24.6	50.1	30.1	25.5	25.0	20.6	25.0	22.5
butadiene-1,3		40.3	11.9	15.3	24.6	20.1	11.0	11.3	10.3	14.3	7.7
2-Me-butadiene-1,3		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
pentadiene-1,3		1.6	0.0	0.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合計		4526.8	3186.4	2646.6	3915.1	3094.3	2644.7	2125.6	1813.4	1478.0	2059.5

表4-21 点火改良装置を付けた場合の炭化水素の排出量と燃量にたいする重量比 (加速時)

トランスミッション ギア	速度 km/h	重量比									
		オ一速 0→10	オニ速 10→20	オ三速 20→30	オ一速 0→20	オニ速 10→30	オ三速 20→40	オ四速 30→40	オ四速 40→50	オ四速 50→60	オ四速 30→50
排出量 g/h		1625	2809	1691	3333	227.7	394.1	334.0	334.8	383.7	535.7
燃料消費 g		3.18	4.79	3.05	6.35	7.90	7.66	9.72	13.04	16.01	15.69
排出重量比 %		5.11	5.87	3.45	5.26	2.88	4.89	3.44	2.57	2.40	3.54

つて規定し、減速所要時間は第三章での測定条件(時間)と一致させるためにブレーキを使用して制御した。すなわち、本測定での減速時間の平均値は第三章での通常の場合にたいして、-6.4~+1.5% (平均-1.6%)とわけて近い条件が再現された。減速初期と終末におけるエンジンの回転数(rpm)、実速度(119)(km/h)、減速度(km/h/sec)

(119), マニホールドバキューム(cmhg)の値は通常の場合とほとんど同様である。点火改良装置の場合の燃料吸入量および排出ガス量は表4-22に示す。表には吸入空気量と吸入燃料量から求めた気液率をも示す。減速時の燃料の吸入

量 (m l) は通常の場合にくらべて約2～2.4% (平均1.7.3%) 低く、減速初期速度の上昇につれて減速時間が長くなるために燃料の消費量も増加する。燃料消費率 (g/p s・h) では通常の場合にたいして平均で1.9.2%の低下となる。通常の状態に単に点火改良装置を付けるとエンジンの回転数が約100～200rpm上昇する。そこで本測定ではアイドルアジャストメントスクリーンの開度を小さくして回転数を600rpmに調整した。そのため通常の場合と同一条件でも燃料吸入量が顕著に減少する。

減速時にはスロットルバルブが全閉され、燃料の流入はスローポートのみから吸入されるために、気液率はきわめて過剰空気の状態となるが、減速時にはマニホールドバキュームが非常に高く、排気の引き戻しが生じ、⁵⁷⁾

燃焼状態は著しく悪い。減速時の排気の排出速度は初期速度の上昇につれて増加し、通常の場合と大差はない。

2. 無機ガス成分 (CO, O₂, H₂, CO₂)

点火改良装置を付けた場合の減速時の無機ガス成分の成績は表4-2.3に示す。通常の場合にくらべてCO, H₂, O₂濃度は小さく、CO₂濃度はかなり大きく、減速条件と各成分濃度の間には顕著な関係はない。通常の場合にたいして各速度条件での濃度が示す割合は図4-3.4のとおりである。すなわち、点火改良装置を付けた場合には減速時のCO濃度が約2.4～4.1% (平均3.4.8%)、H₂濃度が約2.5～5.8% (平均5.0.4%) 減少し、CO₂濃度が約3.5～6.1% (平均4.3.3%) の増加を示し、吸入燃料量の減少とともに、未燃焼成分の排出濃度が顕著に減少する。減速期間中の濃度と排出

表4-2.2 点火改良装置による減速時の燃料消費と排気量

トランスミッション	減速条件 km/h	燃 料		排 気		燃 料
		吸入量 ml/min	消費量 g/h	速度 m/min	量	
第一速	10→0	3.78	22.4	0.064	3.3	14.3
第二速	20→0	3.84	15.0	0.063	6.0	16.1
第三速	30→10	2.52	9.9	0.106	12.0	43.4
第四速	40→0	2.64	15.0	0.119	16.6	42.8
・	40→20	8.40	43.2	0.123	16.5	22.0
・	50→30	8.88	33.8	0.174	24.7	22.4
・	60→40	6.04	18.7	0.183	28.2	31.5

表4-2.3 点火改良装置による減速時の無機ガス成分

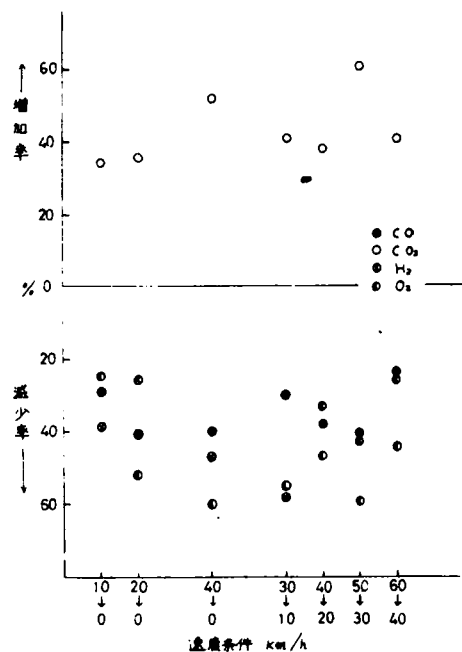
トランスミッション	減速条件 km/h	濃 度 %				時間別排出量 g/h			
		CO	CO ₂	H ₂	O ₂	CO	CO ₂	H ₂	炭化水素
第一速	10→0	5.3	7.8	2.0	1.8	254.5	589.2	7.1	
第二速	20→0	4.3	7.6	2.2	2.6	219.4	608.6	8.2	27.5
第三速	30→10	4.6	8.6	1.9	1.8	366.4	1075.6	10.8	38.6
第四速	40→0	3.8	8.8	2.5	1.5	338.1	1230.0	15.9	39.8
・	40→20	4.9	7.6	2.4	2.0	449.4	1105.6	15.7	40.6
・	50→30	3.9	8.2	2.2	1.9	501.5	1676.9	17.7	50.4
・	60→40	4.7	7.9	1.8	2.0	644.5	1703.1	17.5	54.1

ガス量から求めた無機ガス成分の排出重量は点火改良装置の場合にCO排出量が平均3.9.0%, H₂排出量が平均4.2.2%減少し、CO₂排出量が平均3.3.5%増加する。減速条件による排出量の増加傾向は通常の場合とほとんど同様で、減速初期速度の上昇により急激に増大する。すなわち、高速度からの減速時に多量のCOが排出されるが、この装置によりかなり大巾な排出減少がえられる。

3. C₁～C₄炭化水素

減速時の炭化水素の成績は表4-2.4に示す。初期減速度20～60km/hから終末速度0～40km/hの減速において、約2,400～3,400ppmの炭化水素が検出され、初期速度の増大、すなわち、高速度からの減速では濃度が低下する傾向を示し、通常の場合 (約2,800～8,200ppm) にくらべて非常に低い。炭化水素の平均構成はC₁～C₄パ

図4-3.4 点火改良装置による無機ガス濃度の変化



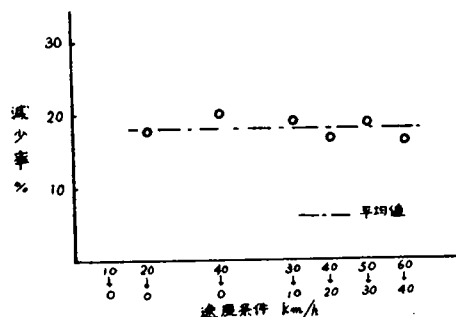
ラフィン約28%, C₅~C₆パラフィン約33%, オレフィン約22%, アセチレン約15%, ジオレフィン約2%で、通常の場合と大差はない。各成分の含量(平均)は, methane, acetylene, ethylene が約13~18%と大きく, i-pentane, n-pentane, n-hexane, propylene が約6~7%でこれにつぐ, さらに, i-butane, n-butane, 2,3-dimethylbutane, 2-methylpentane, 3-methylpentane, 2,2-dimethylbutaneが約3~5%で, 他の成分の含量はいずれも2.0%以下を示す。このような構成比は通常の場合とほぼ同程度で, 点火改良装置を付けた場合には特定成分のみの減少でなく, 炭化水素全体の濃度を減少させる。

各減速条件について, 通常炭化水素濃度にたいして点火改良装置の場合が示す減少率を図4-35に示す。減少率は約16~20%(平均17.9%)を示し, 減速条件による差がほとんどなく, 減速時の取付け効果はほぼ一様である。炭化水素の各分類についての減少率もほぼ同様であるが, オレフィンおよびジオレフィンの減少率(20.2~27.9%)が他に比べてわずかに大きい。

減速期間中の排出ガス量と炭化水素濃度から求めた排出重量を表4-25に示す。表には供給燃料にたいする炭化水素の排出重量比をも示す。減速期間中の炭化水素の排出量は初期速度の増加につれて大巾に増大し, 高速度からの減速時には排気の炭化水素濃度が減少するが, 減速所要時間, およびその間の排出ガス量がともに大きく増加するため, 排出される炭化水素の絶対量(重量)が増加する。

排出重量の平均構成はC₁~C₄パラフィン約17%, C₅~C₆パラフィン約55%, オレフィン約17%, アセチレン約8%, ジオレフィン約2%で, 通常の場合と大差はない。これらのことから, 燃料成分であるC₅~C₆パラフィンが排出量の過半を占めており, 減速時には点火改良装置を付けた場合でも吸入燃料の過半が燃焼せずにそのまま排出されるとみとめられる。減速時に点火改良装置を付けた場合には炭化水素の排出重量が通常の場合にたいして約14~64%(平均45.4%)の減少を示す。減速時の供給燃料にたいする排出重量比は約11~34wt%(平均21.8wt%)で, 通常の場合(約10~49wt%)よりやや低い, 定速, 加速およびアイドル時に比べて非常に大きく, Faith¹²⁵⁾が, 一般に減速時の排出重量比は20~60%であると述べているのとほぼ同様である。

図4-35 点火改良装置による炭化水素濃度の減少率



減速時の炭化水素の時量あたり排出量(g/h)は表4-23に示した。表にはCO, CO₂およびH₂についても示す。減速初期速度の上昇につれて炭化水素の排出量は大きく増大し, 通常の場合にくらべると炭化水素の排出量が約12~34%(平均22.2%)減少する。COおよびH₂の排出量も同様の傾向で, 通常の場合にたいしてCOが平均38.2%, H₂が平均41.4%の減少を示し, CO₂は平均35.6%増加する。点火改良装置を付けた場合には, アイドル時に燃料の吸入量を節減してエンジンの回転数を調整した。それゆえ, このような未燃焼成分の排出減少は取付けによる効果で

表4-24 点火改良装置による減速時の炭化水素

成分	PPM					
	20→0	30→10	40→0	40→20	50→30	60→40
methane	670.4	397.4	501.5	432.2	374.4	403.3
ethane	40.3	33.1	34.4	33.9	37.8	30.4
propane	36.2	24.5	30.8	20.6	14.4	20.1
i-butane	160.1	144.6	109.5	87.0	63.2	52.0
n-butane	153.5	170.3	112.8	135.7	120.2	102.7
2,2-Me propane	30.2	44.6	47.6	41.3	30.6	38.2
i-pentane	184.6	163.3	148.0	172.1	137.9	193.5
n-pentane	191.6	194.6	172.9	183.3	149.2	182.8
2,3-Me butane	103.1	83.1	70.1	96.4	84.1	95.6
2,2-Me butane	84.6	89.3	63.0	59.9	68.4	76.0
2-Me pentane	74.2	90.4	101.4	103.6	93.5	78.3
3-Me pentane	104.3	99.4	98.4	78.4	61.5	81.1
n-hexane	240.6	189.4	186.8	204.5	195.3	156.7
ethylene	406.4	396.4	393.1	386.4	320.4	303.8
propylene	196.5	170.7	173.2	138.9	114.2	123.7
butene-1	27.8	25.3	31.7	14.8	12.8	34.7
i-butylene	41.4	46.7	30.6	18.5	10.5	13.4
trans-2-butene	26.9	15.8	18.9	18.9	19.8	20.9
Cis-2-butene	19	18.3	22.9	20.6	17.0	14.4
pentene-1	7.3	7.3	10.5	9.7	1.9	1.9
pentene-2	2.2	2.6	3.0	1.6	1.1	1.7
3-Me butene-1	1.2	0.6	1.2	1.1	0.0	0.5
2-Me butene-1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Acetylene	488.4	405.9	346.4	416.8	376.1	298.7
Me acetylene	20.8	11.3	19.4	9.9	9.8	9.6
Et acetylene	2.1	1.6	3.0	1.2	0.0	0.0
propadiene-1,3	41.9	21.7	30.5	24.6	33.9	18.6
butadiene-1,3	29.6	30.4	29.8	29.1	29.4	16.7
2-Me butadiene-1,3	2.0	2.5	3.0	1.4	0.4	1.9
pentadiene-1,3	0.0	1.0	2.2	2.5	1.7	1.6
合計	3392.2	3096.1	2857.6	2731.3	2379.5	2387.4

表4-25 点火改良装置による炭化水素の排出量と燃料に対する排出比

分類	g/h					
	20→0	30→10	40→0	40→20	50→30	60→40
排出量	40.5	78.9	92.9	90.4	119.6	139.1
供給燃料	2.67	1.90	1.99	6.34	6.48	3.80
排出重量比 %	17.16	33.83	32.28	10.67	12.97	23.70

ある。

2-4-5 既走行距離による点火改良装置の取付け効果

本研究におけるこれまでの測定は、既走行距離の大きい中古自動車を使用した。すなわち、エンジンの疲労度が高い中古車で、点火改良装置を付けた場合に燃焼効率が大幅に向上することをみとめた。ここでは、走行距離数が異なる同系統の実験車を使用して、点火改良装置を付けた場合の効果の差異を測定した。使用した実験車種はいずれもプリンススカイライン 1500ccで、1961年型車（既走行距離、約68,000km）、1964年型車（既走行距離、約20,000km）1967年型車（既走行距離、約500km）、ならびに前述の1961年型車（既走行距離、約170,000km）の4台である。通常の整備状態¹¹⁷⁾で、点火改良装置を付けた場合には、各実験車ともエンジンのアイドル回転数が約100~200rpm上昇した。そこで、アイドルアジャスティングスクリュー（吸入気量の制御）およびアイドルアジャストメントスクリュー（吸入燃料量の制御）を調整して、アイドル回転数をメーカー指定¹¹⁷⁾の600rpm、マニホールドバキューム50cmHgに制御して測定し、第三章で述べた通常の場合と比較した。

各実験車について、点火改良装置を付けた場合の燃料消費率（量）、排出ガス量、および気液率は表4-26に示す。表には排気の無機ガス成分の濃度をも示す。また、通常の場合の値にたいする燃料消費率、排出ガス量、気液率の変化を既走行距離について図4-36に示す。点火改良装置の場合には、燃料消費率が新車で8.4%、約2万km車で15.4%の減少を示し、約7万km車および約17万km車で減少率は13.6%および14.4%と大差がない。このことは、点火改良装置を付けると燃料の供給量を通常の場合より平均13.0%減少させても、通常の場合と同等のエンジン状態が維持できることを意味する。また、アイドル時の排出ガス量が3.1~7.5%（平均4.8%）増大し、シリンダー内の燃焼効率が向上して燃

表4-26 既走行距離と点火改良装置の効果

（アイドル、600rpm）

年式	既走行距離 km	燃料消費		アイドル バキューム cmHg	気液率 %	排出量 m ³ /min	無機ガス成分濃度 %			
		量 ml/min	率 g/ps h				CO	CO ₂	H ₂	O ₂
1967	200	24.87	150.2	50	11.9	0.398	2.7	12.0	0.5	0.5
1964	20000	25.29	152.6	50	11.4	0.396	2.9	11.1	0.6	0.8
1961	68000	28.64	196.3	51	10.2	0.392	3.2	9.4	1.2	2.1
1961	172000	29.41	251.3	51	8.3	0.387	3.3	5.1	1.2	5.6

料のガス化が促進されることを示す。さらに気液率は通常の場合よりも理論化（14.8）側に近づく。

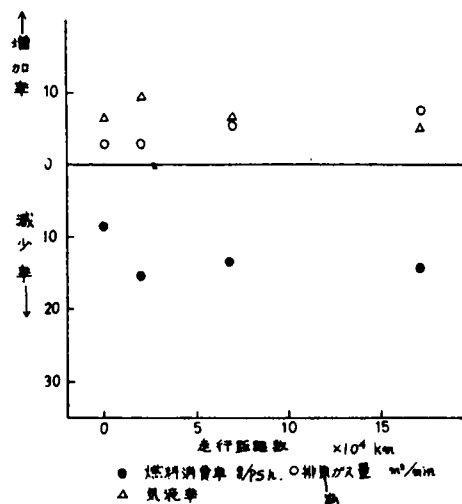
通常の場合の無機ガス成分の濃度にたいする変化率を走行距離数について図4-37に示す。図には炭化水素濃度の合計についても示す。排気中のCO、H₂およびO₂濃度は通常の場合にくらべて顕著に減少し、そ

の減少割合は走行距離の増加、すなわち、エンジンの老化が進むにつれて大きくなる。CO濃度の減少率は新車で25.0%、約2万km車では31.0%、約7万km車では39.6%と増大し、約17万km車の減少率は49.2%で、ほぼ半減する。H₂、O₂および炭化水素濃度についてもほぼ同様の傾向を示す。また、CO₂濃度は新車で7.1%増加し、約7万km車および約17万km車での増加率は30.6%、30.8%とほとんど同程度である。これらのことは点火改良装置の場合に供給燃料の燃焼が完全燃焼側に大きく移行していることを示す。各成分の濃度と走行距離の関係は通常の場合とほとんど同様で、CO、H₂および炭化水素濃度は新車から約7万kmまでにかかなり大きく増加し、その後の増加傾向はゆるやかである。

新車、約2万km車および約17万km車のアイドル時（600rpm）について、点火改良装置を付けて測定した炭化水素の成績は表4-27に示す。検出成分の種類は通常の場合と同様で、新車では約1,480ppm、約2万km車では約1,740ppm、約17万km車では約2,300ppmが検出されたが、各成分の濃度にはかなりの違いがみられる。検出成

図4-36 点火改良装置の取付けによる燃料消費率

排出ガス量、気液率の変化



分のなかでは, methane (約20~24%), acetylene, ethylene (約13~15%), n-butane (約6~15%) i-pentane, 2,2-di Mepropane, 2Mepentane, n-hexane (約2~4%) が比較的大きい含量を示し, 通常の場合とも大差はない。約17万km車のn-butaneの含量が15.2%と, 新車や約2万km車(約6%)にくらべて非常に大きい。炭化水素の構成比率はC₁~C₄パラフィンが約34~39%, C₅~C₆パラフィンが約20~30%, オレフィンが約21~23%, アセチレンが約14~17%, ジオレフィンが約1%で, 通常の場合と大差がない。通常の場合の炭化水素濃度にたいする減少率は, 新車で16.2%, 約2万km車で19.9%, 約17万km車で54.7%と,

図4-37 点火改良装置による無機ガス濃度の変化

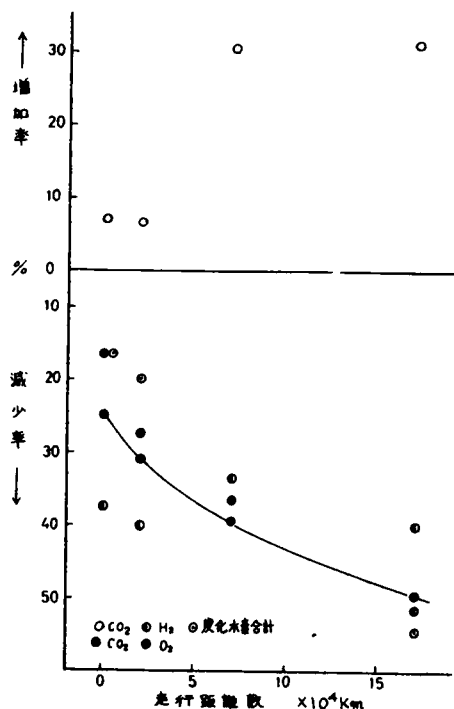


表4-27 走行距離による炭化水素濃度

成分	新車	約2万km	約17万km
methane	319.1	412.2	434.9
ethane	20.9	21.4	40.4
propane	11.1	17.2	10.3
i-butane	62.3	71.2	43.7
n-butane	90.4	98.4	349.5
2,2-di Mepropane	30.1	38.2	49.9
i-pentane	87.1	90.5	149.9
n-pentane	116.2	138.0	99.8
2,3-di Mebutane	19.4	20.9	—
2,2-di Mebutane	22.5	24.6	19.7
3Mepentane	27.6	30.1	37.8
2Mepentane	49.0	54.9	37.7
n-hexane	85.3	84.1	60.0
ethylene	189.2	217.9	300.9
propylene	76.3	103.9	125.4
butene-1	14.6	19.6	32.5
i-butylene	10.5	16.7	23.2
trans-2-butene	12.0	11.0	21.7
cis-2-butene	13.9	13.4	23.6
pentene-1	0.0	1.0	—
pentene-2	0.0	0.2	—
3Mebutene-1	0.0	0.0	—
2Mebutene-1	0.0	0.0	—
acetylene	204.9	240.9	335.0
Meacetylene	3.5	4.4	28.5
Etacetylene	0.0	0.0	—
propadiene 1,3	3.7	4.3	19.0
butadiene 1,3	6.2	8.6	12.2
2Mebutadiene 1,3	0.0	0.0	—
pentadiene 1,3	0.0	0.0	—
合計	1495.8	1743.6	2296.7

既走行距離が大きくなるにつれて減少率が増大し, 疲労度の大きいエンジンほど点火改良装置の効果が顕著である。各成分区についての減少率は若干異なるが, 各車ともアセチレンおよびジオレフィンの減少効果をもっとも顕著である。

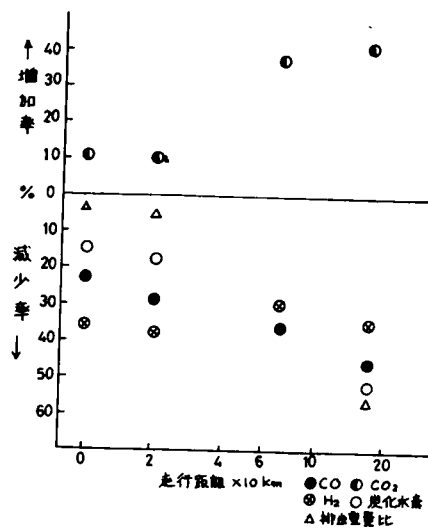
点火改良装置を付けた場合のアイドル時(600rpm)の排出ガス量と炭化水素濃度から求めた炭化水素の時間あたり排出重量を走行距離について表4-28に示す。表には供給燃料にたいする炭化水素の排出重量比をも示す。排出炭化水素の重量構成は通常の場合と大差なく, C₁~C₄パラフィン約25%, C₅~C₆パラフィン約45%, オレフィン約20%, アセチレン約9%, ジオレフィン約1%で, 約17万km車はC₅~C₆パラフィンの構成比がやや大きく燃料成分が未燃焼のままで排出される割合が大きい。炭化水素の排出重量比は既走行距離が大きくなるにつれて増大し, 約17万km車は新車の約2.3倍と非常に多量の炭化水素の排出を示す。また, CO, CO₂およびH₂の時間あたり排出重量も表4-28に示した。CO排出量は新車で約810g/hで, 約2万km車では約860g/hとやや増加するが, 約7万km車は新車にくらべて約17%, 約17万km車では約19%の増大を示す。炭化水素の排出量も約2万km車新車にたいして約14%増加するが, 約17万km車では約151%と著しく増大を示す。これと反対に, CO₂排出量は約17万km車では新車の41.3%に減少する。このような既走行距離の増大による排出量の増減傾向は通常の場合とほとんど同様である。点火改

表4-28 既走行距離と炭化水素の排出量
アイドル, 600rpm

成分	新車	約2万km	約7万km	約17万km
CO g/h	806.4	861.0	939.6	957.6
CO ₂ g/h	5628.6	5181.0	4341.6	2326.2
H ₂ g/h	10.8	12.6	25.2	24.6
炭化水素 g/h	66.3	95.6	—	99.9
炭化水素にたいする 排出重量比 wt%	3.26	4.09	—	7.50

良装置を付けた場合の時間あたりの排出量が通常の場合にたいして示す変化率を既走行距離について示すと図4-38のとおりである。各成分の濃度変化と同様に既走行距離の増大、すなわち、エンジンの疲労度が大きいほど顕著な効果を示す。CO排出量は新車で約23%減少し、約2万km車では約29%、約7万km車では約36%と、既走行距離が大きくなるにつれて減少率も増大し、約17万km車での減少率は約45%とCO排出量が点火改良装置によってほぼ半減する。炭化水素排出量の変化も同様で、減少率は新車約15%、約2万km車約18%を示し、約17万km車では約51%と排出量が半減する。一方、CO₂は点火改良装置によつて混合気の燃焼が完全燃焼側に移ることから、排出量が増大し、新車および約2万km車では約10%、約7万kmおよび約17万km車は約38~41%の排出増加を示す。これらのことから、点火改良装置の効果はエンジンの疲労度の大きい、既走行距離の大きな中古車の場合にもっとも顕著で、新車はもとより実際の都市での走行が多い中古車の排気による汚染の軽減にきわめて有効な装置であることがみとめられる。

図4-38 点火改良装置による排出量変化



2-4-6 シャーシーダイナモテストによる点火改良装置の効果

本節でのこれまでは、平坦な舗装道路上でのロードテストによる効果の測定結果で、シャーシーダイナモテストとは、厳密には比較できない。²⁴⁾ 米国では自動車排気および排気防止装置の性能検定にシャーシーダイナモテストが採用されており、わが国⁶⁾でも4モードサイクル⁴⁹⁾による方法が採用された。本研究においても、第三章でシャーシーダイナモテストによる排気測定を行なった。ここでは点火改良装置を付けた場合のシャーシーダイナモテストを行なった。測定方法は第三章で述べた米国の7モードサイクルによる方法である。実験車にはプリンススカイライン1500cc、1967年型車(約150km走行)を使用し、点火改良装置にはT B-O、T B F-I、T B F-O I、T B F-O 3、T B F-O 4、K F-3、K F-4、K F-5の合計8種である。おのおのの内部構造の違いは本章第3節で述べる。7モードサイクルによる測定はいずれもホットサイクルで、非分散型赤外分析計(NDIR)による各速度条件における排気成分の平均濃度の読取り、ならびに算出は指定された方法³⁴⁾⁴⁸⁾にしたがつた。

点火改良装置を付けてシャーシーダイナモテストで測定したCOおよびn-hexane値を7モードサイクルの各速度条件について表4-29に示す。通常の場合のサイクル平均値は第三章で述べたように、COは3.05%、n-hexane値は

表4-29 点火改良装置による7モードサイクルの成績

		CO %, H-C : n-hexane ppm															
モード	速度	T B-D		T B F-I		T B F-O I		T B F-O 3		T B F-O 4		K F-3		K F-4		K F-5	
		CO	H-C	CO	H-C	CO	H-C	CO	H-C	CO	H-C	CO	H-C	CO	H-C	CO	H-C
1	アイド	0.14	14	0.09	16	0.09	18	0.11	18	0.10	13	0.09	16	0.08	13	0.09	13
2	加速	0.29	71	0.24	69	0.23	90	0.23	81	0.24	69	0.21	83	0.24	70	0.24	67
3	定速	0.12	30	0.13	24	0.13	24	0.13	30	0.12	19	0.11	33	0.11	22	0.12	20
4	減速	0.14	102	0.11	94	0.10	104	0.12	112	0.11	103	0.12	113	0.11	95	0.12	88
5	定速	0.15	17	0.15	16	0.15	17	0.16	14	0.14	16	0.15	15	0.14	10	0.16	11
6	加速	0.32	82	0.32	64	0.25	98	0.25	92	0.32	72	0.14	82	0.17	76	0.15	77
7	減速	0.12	104	0.13	104	0.11	106	0.10	117	0.11	97	0.10	119	0.10	83	0.12	84
合計		2.07	420	1.97	409	2.26	457	2.30	464	1.93	394	2.21	463	1.84	369	1.83	360

571 ppmである。これにくらべて、ここで使用した点火改良装置のいずれもCOとn-hexane 値がかなり低い値を示す。COについては、4種(TBF-1, TBF-04, KF-4, KF-5)が1.83~1.97%と通常の場合より大巾に減少し、n-hexane については2種(KF-4, KF-5)が360~369 ppmと非常に低い。COおよびn-hexane 値が通常の場合にたいして示す減少率は表4-30のとおりで、点火改良装置の場合には、COが約25~40%(平均32.7%)、n-hexane が約21~39%(平均29.3%)の減少となる。すなわち、シリンダーに吸入された混合気の燃焼状態が顕著に改善され、不完全燃焼成分が大巾に減少することがみとめられる。

表4-30 点火改良装置による
減少率(7モードサイクル)

装置の タイプ	成分	減少率 %	
		CO	HC
TB-D		32.1	28.9
TBF-1		35.4	30.8
TBF-01		25.9	22.7
TBF-03		24.6	21.5
TBF-04		36.7	33.3
KF-3		27.5	20.8
KF-4		39.7	37.6
KF-5		40.0	39.1
平均		32.7	29.3

米国では排出基準値がエンジンの排気量(シリンダー容積)別に区分されており、⁴⁰⁾ 本研究に使用した自動車(プリンススカイライン)のエンジンはシリンダー容積1,488ccで、米国のA2クラス(排出基準; CO 2.3%, n-hexane 410ppm)に相当する。通常の場合の排気濃度(CO 3.05%, n-hexane 591ppm)はこの基準値を上回り、点火改良装置を付けるとCOはここで検討した全種とも基準値以下を示す。n-hexane は4種(TBF-1, TBF-04, KF-4, KF-5)が基準値より小さく、他の場合は420~468ppmで基準値よりやや大である。本測定はホットサイクルのみであるが、点火改良装置によつて実験車(プリンス)の排気濃度を米国の基準以下に制御することがほぼ可能と考えられる。

一方、わが国の排出規制は、エンジン容積にたいする規定はなく、単にCO濃度3.0%以下と示されており、本実験車(プリンス)の通常の場合でのCO(4モードサイクル)が、ほぼ3%で、点火改良装置を付ければ規制値を大巾に下回る。

2-5 総括

自動車排気の処理については、米国で多くの研究がなされ、米国の試験基準で認可されたものも少なくない。しかし、これらの装置のほとんどは実用上の問題点も多く、有効かつ安価で耐久性の大きい実際的な装置や方式の開発がのぞまれている。すなわち、排気の処理は未燃焼成分の除去と混合気の完全燃焼による排出減少とに大別され、現在の装置は大部分が前者に属し、エンジンの機能に及ぼす影響、製造費、耐久性などの点から実用上十分なものはない。

本節では、後者の目的から開発された点火改良装置による排気成分の変化ならびにエンジン機能への影響を検討した。実験車は第三章に用いたプリンススカイライン1500cc、1961年型車で、点火改良装置の火花放電特性の変化についても考察した。さらに、同系車種で既走行距離の異なる4台を用いてエンジンの疲労度の相違による取付け効果を検討した。その結果を要約するとつぎのとおりである。

2-5-1 放電特性

点火改良装置は、並列静電容量をもつ誘電体内ギャップ放電を利用し、点火栓へ流れる二次側回路の電気特性を改善する装置である。この装置を付けると放電継続時間(約1ms)が通常の約半分位に短縮され、プラグ端子間電圧の立上り時間は30μsで、鋭い強力な火花放電(30~50μs)が発生する。このことは放電初期に放電電流が集中して、初期点火エネルギーが著しく増大する。これらのことから点火改良装置はシリンダー内の冷焔反応時間を短縮し、燃焼速度を促進させて混合気の燃焼効率の向上をもたらすと推察された。

2-5-2 点火改良装置によるアイドル時の効果

点火改良装置を付けた場合のアイドル時(600~4,000rpm)の燃料消費率(約176~250g/ps・h)は通常の場合よりも約14~26%(平均19.5%)減少する。気液率(8.3~12.1)は通常(7.3~10.4)よりも理論比側に移り、排気温度(44~280℃)は通常の場合と大差がない。排出ガス量はエンジンの回転数とともに急増し、

通常の場合にくらべてやや大きい。

点火改良装置の場合の排気濃度はCO 1.2～3.3%, H₂ 0.3～1.2%, CO₂ 5.1～12.5%で、通常の場合にたいしてCOが約44～56% (平均52.0%), H₂ が約39～69% (平均51.0%)に減少し, CO₂ は約31～58% (平均39.1%)の増加を示す。アイドル時のCO排出量は約740～1,970 g/hで、通常の場合にくらべて約40～53% (平均45.1%)の減少を示す。また、排気から約930～2,300 ppmの炭化水素が検出され、通常にたいして約3～58% (平均47.9%)の減少となる。炭化水素排出量は約98～148 g/hで、通常の場合にたいして約33～55% (平均44.0%)の減少を示し、供給燃料あたりの排出重量比は1.61～7.50 (wt) %で、通常の場合よりも約8～43%低下する。すなわち、点火改良装置によつて、アイドル時の燃料消費が大巾に節減され、供給燃料の燃焼が向上して未燃焼成分の排出が顕著に減少する。

2-5-3 点火改良装置による定速時の効果

定速時(10～80 km/h)の燃料消費率(約119～216 g/h)は、トランスミッションの位置および車速によってかなり異なり、通常の約72～88% (全平均78.8%)に低下する。燃料(1ℓ)あたりの走行距離(2.5～10.0 km/ℓ)は、第四速50 km/hでもとても大きく、通常の場合にたいして約17～52% (全平均30.2%)の増大を示す。排出ガス量(約0.6～1.7 m³/min)は通常よりも約6～32%増加する。

無機ガスの濃度(CO 1.4～5.2%, H₂ 0.5～1.6%, CO₂ 6.4～12.4%)は、通常の場合にたいしCO約39%, H₂ 約46%と大巾に減少し, CO₂ は約37%増加する。排出量(CO約1,125～3,065 g/h), H₂ 約26～82 g/hは通常にたいしてCOが28.4%, H₂ が35.4%の減少を示す。

定速時の炭化水素濃度(約299～1,688 ppm)の運転条件による濃度変化は通常と同様で、炭化水素濃度の減少率は全平均で51.3%と半減を示す。炭化水素構成はC₅～C₆ パラフィン約36%, C₅～C₆ パラフィン約40%, オレフィン約13%, アセチレン約11%, ジオレフィン0.4%で、通常の場合よりも燃料解裂成分のC₁～C₄ パラフィンおよびオレフィンの割合がやや低い。炭化水素排出量(約56～208 g/h)は通常の場合より平均で40.4%減少する。また、供給燃料にたいする排出重量比は1.04～6.51 wt %で、通常と同じく車速の増大につれて減少する。これらのことから、点火改良装置を付けた場合の定速時には、燃料消費が約20%節減され、不完全燃焼成分の排出がほぼ半減する。

2-5-4 点火改良装置による加速時の効果

初期速度0～50 km/hから終末速度10～60 km/hの加速条件で、点火改良装置により加速間隔が約10～35% (全平均19.9%)短縮され、エンジンの加速性能の向上がみとめられた。燃料消費率(約261～549 g/ps・h)は通常より約10～16% (全平均13.2%)減少する。無機ガスの濃度は加速条件で大きく異なり、COは2.1～5.8%, H₂ は0.1～0.5%, CO₂ は9.4～12.8%を示す。通常の濃度にたいする減少率はCO約17%, H₂ 約41%で、CO₂ は約16%増大する。排出量(CO約1,148～3,683 g/h, H₂ 約4～18 g/h)は通常にたいしてCO約16%, H₂ 約38%減少する。炭化水素濃度(約1,810～4,530 ppm)も加速条件で異なり、通常にたいして約12～18% (平均15.7%)の低下を示す。炭化水素構成はC₁～C₄ パラフィン約30%, C₅～C₆ パラフィン約34%, オレフィン約21%, アセチレン約13%, ジオレフィン約2%で、燃料成分であるC₅～C₆ パラフィンの排出が大きい割合を占める。炭化水素の排出量(約199～554 g/h)は通常より約13～22% (平均17.3%)少ない。これらのことから、定速時に点火改良装置を付けると、通常の場合よりも約10%少ない燃料量で加速時間が約20%短縮され、供給燃料の燃焼効率が大巾に向上し未燃焼成分の排出が顕著に減少する。

2-5-5 点火改良装置による減速時の効果

初期速度10～60 km/hから終末速度0～40 km/hの減速条件での燃料消費率(約10～43 g/ps・h)は通常の場合より約19%減少する。無機ガス成分の濃度(CO 3.8～5.3%, H₂ 1.8～2.5%, CO₂ 7.6～8.8%)は通常の場合より、CO約35%, H₂ 約39%と大巾に低下する。排出量(CO約219～644 g/h, H₂ は約

7~18 g/h)で通常の場合よりCO約39% H₂ 約42%減少する。炭化水素濃度(約2,387~3,392 ppm)は通常の場合より約16~20%(平均17.9%)減少し、その構成はC₁~C₄ パラフィン約28%, C₅~C₆ パラフィン約33% オレフィン約22% アセチレン約15% ジオレフィン約2%で、通常の場合と明らかな変化はない。炭化水素の排出重量(約28~54 g/h)は通常よりも約22%少ない。これらのことから、減速時に点火改良装置を付けると排気中の未燃焼成分が大巾に減少し、炭化水素およびCOの排出量が2~3割も低下して大気汚染の軽減上かなり有効と考えられる。

2-5-6 既走行距離による点火改良装置の効果

既走行距離の異なる同系車種の実験車に点火改良装置を付けてエンジンの疲労度による差異を検討した。アイドル時(600 rpm)の燃料消費率はこの装置により新車および約2万km車で約8~15%, 約7万km車と約17万km車で約14%低下する。CO濃度の減少率は新車(約25%)から走行距離数とともに増し、約17万km車(約49%)では半減する。

炭化水素濃度の減少率も新車および約2万km車で約16~20%を示し、約17万km車(約55%)では半減し、各成分のなかでもアセチレンおよびジオレフィンがやや大きく減少する。また、各成分の排出量の減少効果は濃度と同様に、既走行距離が大きくてエンジンが疲労したものほど顕著である。CO排出量の減少率は新車および約2万km車が約23~29%, 約7万km車で約36%で、約17万km車では約45%とほぼ半減し、炭化水素排出量もほぼ同様である。これらのことから、点火改良装置はエンジンの疲労度および既走行距離数の小さい自動車の場合にもかなり顕著な燃焼効率の向上をもたらすが、走行距離の大きい中古車では未燃焼成分の排出をほぼ半減し、実際の都市走行に多い中古車の排気対策の装置として非常に有利である。

2-5-7 シャーシーダイナモテストによる点火改良装置の効果

米国の7モードサイクル(ホットサイクル)による測定で、通常の場合に実験車(新車)はCO 3.05%, n-hexane 591 ppmの排気濃度を示し、ともに米国の排出基準より高い。点火改良装置を付けるとCOは1.83~2.30%, n-hexane は360~468 ppmに低下し、装置の取付けによる減少率はCO約23%, n-hexane 約29%で大巾な排出低下を示した。実験車が相当する米国の排出基準(気筒容積781~1,562 ccでCO 2.3%, n-hexane 410 ppm)にくらべると、点火改良装置を付けた場合のCOは基準値を大巾に下回り、n-hexane 値については、実験に供した8種の装置のうち4種(TBF-1, TBF-04, KF-4, KF-5)が基準値より小さく、他はやや越える。

以上は、実用車に点火改良装置を付けた場合の効果について、運転条件を系統的に制御して検討した結果である。すなわち、実際の都市街路上でのロードテストおよびシャーシーダイナモテストを行ない、通常の場合と比較した。本研究に使用した点火改良装置は吸入気の点火時に強力な火花放電が発生し、供給燃料の燃焼効率を大きく向上させ、各運転条件について所要燃料量が顕著に減少できる。また、加速時にはより少ない燃料量で加速時間の短縮をもたらした。排気中の未燃焼成分の濃度と排出量も大巾に減少し、都市の大気汚染の軽減にきわめて有効な装置である。さらにエンジンの疲労度の大きい中古車にこの装置を付けた場合には、未燃焼成分の排出がほぼ半減し、実際の都市の大気汚染に貢献度の大きい中古車による汚染を大巾に軽減できると考えられ、取扱いが簡単で、エンジン機構に何らの改造を要しないことからきわめて実際的な装置である。

しかし、この装置の場合にもなお排気にかんがりの未燃焼成分が含まれ、大気汚染の完全防止により有効な装置の開発がのぞまれ、わが国に多い軽自動車にたいする効果についても検討する必要がある。

第 3 節 点火改良装置の内部構造による差異

3-1 研究 目 的

点火改良装置は混合気の点火時に強力なエネルギーをもつ火花放電を与え、火焰伝播速度を促進させて燃焼効率の向上を

もたらすもので、実際の自動車に付けた効果は前節で述べた。すなわち、混合気の燃焼が完全燃焼側に移行し、未燃焼成分の排出減少、燃料消費量の節減、エンジンの加速性能の向上がえられる。しかし、この装置は放電ギャップ面における電極の消耗などが性能の低下をもたらす、効力の耐久性が実用車で1～2万km走行程度と報じられている。¹²⁶⁾ 一方、米国の排気ガス処理装置の耐久性基準²⁹⁾は50,000マイル(約80,450km)で、本装置の寿命は重要な問題点である。本節では、耐久性向上のために内部構造による性能の差異を検討し、性能劣化を防ぐために試作品を用いて検討した。

3-2 実験方法

実験車は前節と同様に、プリンススカイライン1500cc, 1961年型車(既定走行距離数約17万km)を、燃料にはエッソガソリン(75～87オクタン)を使用した。測定項目、および方法は第三章第2節と同様である。

3-3 点火改良装置の供試品

点火改良装置の基本的構造は、本章第2節で述べたとおり、カーボン電極、マイカ板、ステンレス電極、スプリングコイルから形成されており、本節ではこれらの材質の差異による影響を検討した。すなわち、カーボン電極(角、丸型)の中心にステンレスシールをした場合とシールをしない場合の8種、マイカ板の厚さが異なる(0.10～0.41mm)9種、スプリングコイルの太さを変えた1種(1.0mm)、スプリングコイルを除いた1種についてまず測定した。測定に供した装置の特性は表4-31に示す。さらに、耐久性を向上させるためにカーボン電極の代りにメタルカーボン(Cu50%)、アルミニウム、カーボンの硬度の異なるもの計4種を試作して検討した。また、実際の自動車につけてすでに約4,200、約10,000、および約20,000km走行したものについて性能低下の度合を測定した。

表4-31 供試装置の特性

NO	電 極 (mm)	角 形	マイカ板 厚さ(mm)	シリコン 厚さ(mm)	スプリング コイルの直径 (mm)	静電容量 pF	火花幅 μA	備 考
1	17×17×5	角	0.21	0.41	1.2	19.0	44.0	
2	17×17×5	角	0.20	0.40	-	20.0	48.0	
3	17×17×5	角	0.20	0.40	-	19.0	39.0	
4	17×17×5	角	0.20	0.40	-	19.0	44.0	
5	20×5 スリット	角	0.20	0.41	-	15.0	44.0	
6	20×5 スリット	角	0.20	0.41	-	16.0	43.0	
7	20×5	角	0.21	0.41	-	17.0	40.0	
8	19×5 スリット	角	0.20	0.40	-	18.0	41.0	
9	1と同じ	角	0.41	0.40	-	14.0	37.0	
10	2と同じ	角	0.42	0.40	-	16.0	35.0	
11	3と同じ	角	0.41	0.40	-	16.0	41.0	
12	4と同じ	角	0.40	0.40	-	15.0	39.0	
13	5と同じ	角	0.41	0.41	-	14.0	44.0	
14	8と同じ	角	0.40	0.40	-	15.0	38.0	
15	17×17×5	角	0.88	0.41	-	10.0	32.0	マイカ2枚(31)厚 0.0175mm
16	19×5 スリット	角	0.88	0.41	-	11.0	35.0	同上
17	17×17×5	角	0.10	0.41	-	16.0	42.0	同上
18	19×5 スリット	角	0.10	0.42	-	17.0	46.0	同上
19	17×17×5	角	0.21	0.41	1.0	18.0	41.0	
20	17×17×5	角	0.21	0.41	1.6	18.0	39.0	
21	17×17×5	角	0.10	0.38	1.2	53.0	45.5	
22	19×5 スリット	角	0.10	0.38	-	21.5	47.5	マイカ2枚(31)厚 0.0175mm
23	17×17×5	角	0.10	0.41	-	9.5	50.5	
24	17×17×5	角	-	0.66	0.9～1.2	15.0	35.0	
25	17×17×5.1	角	0.37	0.66	0.9～1.2	9.5	14.0	
26	17×17×5.1	角	0.37	0.62	0.9～1.2	0	14.0	
27	17×17×5.1	角	0.40	0.47	0.9	7.0	38.0～43.0	S
28	17×17×5.1	角	0.40	0.47	1.2	17.0	38.0～43.0	D

41 記
24: デイハチ 360cc に装着 4,200km 使用後
25: タクシー 9997km 使用後
26: タクシー 20000km 使用後 外装 エッジ磨き後

3-4 測定成績ならびに考察

装置の内部規格を変えた合計26種について、アイドル時(600rpm)の燃料消費量、混合比、排気の無機ガス濃度を測定した。その結果は表4-32に示す。アイドル時(600rpm)では、マニホールドバキウム; 5.0～5.1cmHg、燃料消費量; 1.212～2.208ℓ/h、混合比、7.2～13.0で、無機ガスの濃度(H₂ 1.02～2.64%, O₂ 2.03～3.43%, CO 5.32～9.06%, CO₂ 8.26～13.24%)もかなり異なる。これらの成績から、内部の相違による変化を検討するとつぎのようである。

表4-32 供試装置の測定成績

アイドル 600rpm

番号	manifold vac. cmHg	燃料 g/h	H ₂ %	O ₂ %	CO %	CO ₂ %	燃焼率
1	50	1.614	1.45	2.16	5.32	13.12	9.8
2	50	1.394	1.18	2.18	5.43	13.22	11.3
3	51	1.651	1.92	2.15	5.88	12.39	9.6
4	51	1.498	1.02	2.27	5.80	12.40	10.6
5	50	1.396	1.95	2.18	5.50	12.30	11.3
6	50	1.459	1.15	2.50	5.63	12.17	10.8
7	50	1.212	1.84	2.14	5.59	12.05	13.0
8	50	1.446	1.80	2.46	6.00	11.31	10.9
9	50	1.622	1.55	2.55	6.07	12.65	9.7
10	50	1.678	1.38	2.38	6.46	11.57	9.4
11	51	1.532	1.53	2.53	6.71	12.69	10.3
12	51	1.502	1.17	2.17	6.09	12.75	10.5
13	50	1.426	1.80	2.30	6.09	13.08	11.1
14	50	1.618	1.76	2.76	6.32	12.03	9.5
15	50	1.432	1.38	2.38	5.41	13.21	11.0

番号	manifold vac. cmHg	燃料 g/h	H ₂ %	O ₂ %	CO %	CO ₂ %	燃焼率
16	51	1.413	1.53	2.53	5.58	10.63	11.2
17	50	1.402	1.68	2.68	6.44	12.86	11.3
18	50	1.380	1.83	2.46	6.49	12.83	11.5
19	51	1.482	1.48	2.45	5.43	13.07	10.7
20	51	1.896	1.84	2.93	7.50	10.37	8.3
21	50	1.680	1.14	2.14	5.25	12.93	9.4
22	50	1.888	2.16	2.66	8.08	9.28	8.5
23	51	1.904	2.64	3.09	8.04	9.28	8.3
24	50	2.096	2.16	3.16	7.68	12.22	7.5
25	50	2.154	2.37	3.43	7.84	8.94	7.3
26	51	2.208	2.37	3.38	7.06	8.26	7.2
26L	50	2.188	2.64	3.43	9.47	9.19	7.2
27	51	1.914	1.63	2.43	6.48	11.13	8.3
28	51	1.664	1.59	2.03	5.67	12.80	9.5

3-4-1 カーボンとステンレス電極

点火改良装置の疲労消耗の大きな要素であるカーボン電極を金属板（ステンレス）に換えた場合について、測定成績を整理すると表4-33のとおりである。ステンレス板はクロム18%，ニッケル8%を含む。マイカ板の厚さ0.1～0.9mm，シリコン板の厚さ0.4mm，スプリングコイルの径1.2mmでの平均値である。表にはカーボン電極を基準にした場合の比率をも示す。混合比，燃料消費量，排気中のCO濃度には両電極による差（0.7～0.9%）がきわめて小さく，CO₂濃度はステンレス電極がカーボン電極より約9%低い，電極による吸入気の燃焼効率の相違を論じるほどの差がない。また，カーボン電極の形（丸および角）による違いもない。

表4-33 カーボン電極とステンレス電極による差異

項目 枝管	AFR	燃料 g/h	排気量			
			CO %	CO ₂ %	H ₂ %	O ₂ %
カーボン	10.7	14.78	5.95	12.82	1.47	2.42
ステンレス	10.8	14.89	5.85	11.70	1.73	2.55
$\frac{S}{C}$	1.009	1.007	0.983	0.913	0.850	1.054

マイカ板 0.1～0.9mm ステンレス(18%Cr-8%Ni)

シリコン板 0.4mm

スプリングコイル 1.2mm

3-4-2 マイカ板の厚さによる差異

カーボン電極（ステンレス）とシリコン板の間に挿入するマイカ板の厚さは，放電ギャップの間隔となるもので，厚さ0.1～0.9mmについて成績を表4-34に示す。表には，電極をカーボンおよびステンレスと分けて示すが，両者とも燃料消費量はマイカ板の厚さ0.4mmでもっとも大きい。排気のCO濃度は，カーボン電極でマイカ板が厚くなるにつれてわずかに減少し，ステンレス電極では逆に厚さとともに増加を示す。また，ステンレス電極でのCO₂濃度はマイカ板の厚さが増すと減少する。これらのことから，マイカ板の厚さと測定項目の間に

表4-34 マイカ板の厚さによる差異

項目 厚さ 電極	燃料消費量 g/h		AFR		CO %		CO ₂ %	
	カーボン	ステンレス	カーボン	ステンレス	カーボン	ステンレス	カーボン	ステンレス
0.1	1.402	1.380	11.3	11.5	6.44	5.49	12.86	12.83
0.2	1.614	1.446	9.8	10.9	5.32	6.00	13.12	11.31
0.4	1.622	1.618	9.7	9.5	6.07	6.32	12.65	12.03
0.9	1.432	1.413	11.0	11.2	5.41	5.58	13.21	10.63

一定の傾向がなく，最大と最小値との差もきわめて小さく，マイカ板の厚さ0.1～0.9mmでは点火性能に顕著な影響がない。また，マイカ板とシリコン板を接着剤で接合した場合にも明らかな影響はない。

3-4-3 スプリングコイルの太さによる影響

カーボン電極(17×17×5mm)、マイカ板の厚さ0.2mm、シリコン板の厚さ0.4mmについて、スプリングコイルのないとき、太さが1.0mmおよび1.2mmとした場合の成績は表4-35に示す。コイルの径が0.1mm、と1.2mmの各測定値はほとんど同様である。スプリングコイルを除いた場合には燃料消費量、および排気の不完全燃焼成分(CO, H₂)の濃度がやや大きく、CO₂濃度が低い。CO₂濃度は通常の場合よりも約27%減少し、混合気の燃焼効率がわずかに低下すると考えられる。

表4-35 スプリングコイルによる効果

項目 スプリングコイル	燃料消費量 g/h	AFR	排気濃度			
			CO %	CO ₂ %	H ₂ %	O ₂ %
なし	1896	8.3	7.50	10.37	1.84	2.93
1.0mm	1482	10.7	5.43	13.07	1.48	2.45
1.2mm	1614	9.8	5.32	13.12	1.45	2.16

カーボン電極 A-223 マイカ板 0.2mm、シリコン 0.4mm

3-4-4 静電容量および火花成分による影響

混合気にたいする点火能力にもつとも関係する¹¹⁶⁾

静電容量(PF=μμF)、ならびに火花成分(μA)はキャパシティーブリッジおよび火花成分測定装置¹¹⁵⁾で測定した値で、本測定に使用した点火改良装置の静電容量は0~55.5PF、火花成分は0~47.5μAである。現用されているものの値は17PF付近および

40μA付近で、実用中に装置を付けて使用した時間が増すにつれて低下し、約20,000km走行後では静電容量0.1PF、火花成分14μAに低下した。ここで、PF値から0PF、9.5~11.0PF、14.0~19.0PF、20~23PF、50PF以上の5区分に、μA値についても14μA以下、32~39μA、40~48μA、50μA以上の4区分に分類して比較した結果は表4-36に示す。表には電極のカーボンおよびステンレスについても示す。カーボン電極では、PF値0区分の燃料消費量CO濃度がもっとも大きく、CO₂濃度と気液率はもっとも小さく、混合気の燃焼状態がもっとも悪い。このような状態は点火改良装置を付けない場合とほとんど同じである。PF値が増すにつれて、燃料消費量およびCO濃度は減少し、CO₂濃度が増大を示す。PF値20~23では、CO₂濃度(13.08%)がもっとも大きく、CO濃度(5.34%)および燃料消費量(1.537g/h)はともにもっとも低く、混合気の燃焼効率がもっとも高い状態であることを示す。PF値がさらに大きくなって、50PF以上では燃焼効率がやや低下する。すなわち、点火改良装置の点火性能は20~23PFがもっとも有効で、14~19PFではやや低く、他の場合の点火性能が大巾に低下するとみとめられる。カーボン電極の火花成分については、40~48μA区分が燃料消費量(1.546g/h)およびCO濃度(5.96%)がもっとも低く、CO₂濃度(12.73%)がもっとも高く、混合気の燃焼効率がもっとも高い。32~39μA区分では、点火性能が40~48μA区分にくらべてわずかに低い。これらの両区分における燃焼効率にはほとんど差がない。火花成分値が14μA以下、ならびに50μA以上の区分では燃料消費量、およびCO濃度が高く、CO₂濃度が低く、混合気にたいする点火性能が顕著に低下する。ここで、電極による相違をみるために、静電容量14~19、20~23PFおよび火花成分32~39、40~48μAについて、ステンレス電極の場合を測定した。カーボン電極にくらべて、ステンレス電極の場合には、燃料消費量が0.6~8.1%少なく、不完全燃焼成分のCO濃度もやや低いから、混合気の点火性能に有利ともみられるが、排気中の完全燃焼成分であるCO₂濃度はカーボン電極よりもやや低く(2.5~4.5%)相反する効果を示し、両電極による差異を判定できない。また、静電容量値と火花成分値との相互関係に

表4-36 静電容量および火花成分値による差異

項目 分類		燃料消費量g/h		AFR		CO %		CO ₂ %		H ₂ %		O ₂ %	
		カーボン		ステンレス		カーボン		ステンレス		カーボン		ステンレス	
		PF	μA	PF	μA	PF	μA	PF	μA	PF	μA	PF	μA
静電容量	0	2208	—	7.2	—	9.06	—	8.26	—	2.37	—	3.38	—
	10~11	1887	—	8.5	—	7.07	—	11.89	—	2.02	—	2.77	—
	14~19	1554	1464	10.3	10.8	6.12	5.85	12.46	11.73	1.53	1.73	2.40	2.55
	20~23	1537	1537	10.4	10.4	5.34	5.34	13.08	13.08	1.16	1.16	2.16	2.16
	50以上	1888	—	8.5	—	8.08	—	9.28	—	2.16	—	2.46	—
火花成分	14以下	2056	—	7.8	—	8.55	—	8.77	—	2.53	—	3.23	—
	32~39	1630	1515	9.8	10.4	6.07	5.95	12.16	11.33	1.54	1.65	2.43	2.44
	40~48	1546	1404	10.4	11.3	5.96	5.69	12.73	12.46	1.49	1.59	2.08	2.30
	50以上	1904	—	8.3	—	8.04	—	9.28	—	2.64	—	3.09	—

μA区分が燃料消費量(1.546g/h)およびCO濃度(5.96%)がもっとも低く、CO₂濃度(12.73%)がもっとも高く、混合気の燃焼効率がもっとも高い。32~39μA区分では、点火性能が40~48μA区分にくらべてわずかに低い。これらの両区分における燃焼効率にはほとんど差がない。火花成分値が14μA以下、ならびに50μA以上の区分では燃料消費量、およびCO濃度が高く、CO₂濃度が低く、混合気にたいする点火性能が顕著に低下する。ここで、電極による相違をみるために、静電容量14~19、20~23PFおよび火花成分32~39、40~48μAについて、ステンレス電極の場合を測定した。カーボン電極にくらべて、ステンレス電極の場合には、燃料消費量が0.6~8.1%少なく、不完全燃焼成分のCO濃度もやや低いから、混合気の点火性能に有利ともみられるが、排気中の完全燃焼成分であるCO₂濃度はカーボン電極よりもやや低く(2.5~4.5%)相反する効果を示し、両電極による差異を判定できない。また、静電容量値と火花成分値との相互関係に

よる点火性能についてもさらに検討する必要がある。

3-4-5 走行距離数による効力の低下

現在使用されている点火改良装置（T B-S, D型）で、すでに実用車に付けて一定の走行距離数を経過したもの3種、（約4,200km走行, 約10,000km走行, 約20,000km走行）について比較した成績は表4-37に示す。表には点火改良装置を付けない通常の場合, 未使用のT B-DとT B-S, 電極をカーボンおよびステンレスとした場合についても示す。通常の場合を基準にすると, 燃料消費量は未使用のT B-Sが約13%, T B-Dが約24%の減少を示す。既使用品の減少率は約4,200km走行済み約13%, 約10,000km走行済み約2%と, 取付けによる効果が大巾に低下し, 約20,000km走行済みでは効果がほとんどない。これらの静電容量と火花成分値は未使用のT B-Dにくらべて大巾に低下しており, 約20,000km走行済みの静電容量値は0.15pFで, 点火性能がほとんど消失している。未使用のT B-Dは通常の場合よりもCO濃度が半減する。約4,200km走行済みのCO濃度は通常約64%で, 取付けによる効果

表4-37 点火改良装置の寿命

項目 分類	燃料消費量 %	混合比	排気成分濃度 %				静電容量 pF	火花成分 μA
			CO	CO ₂	H ₂	O ₂		
取り付けなし	2.188	7.2	9.47	7.19	2.64	3.43		
既使用	4200km走行	1.904	8.3	6.04	9.82	2.64	3.09	15
	9997km走行	2.154	7.3	7.84	8.94	2.37	3.43	9.5
	20000km走行	2.208	7.2	9.06	7.26	2.37	3.38	0
未使用	T B-D	1.664	9.5	4.67	11.80	1.59	2.03	17
	T B-S	1.914	8.3	5.48	10.13	1.63	2.43	17
	カーボン電極	1.583	10.0	5.33	11.41	1.41	2.41	17
	ステンレス電極	1.618	9.5	5.32	11.03	1.76	2.76	17

果が顕著である。使用距離数が増大するとCO濃度は増加して約10,000km走行済みのCO減少率は約17%とかなり小さくなる。さらに, 使用距離が増して約20,000km走行済みではCOの減少効果はほとんどない。完全燃焼成分のCO₂濃度では, 約4,200km走行済みの値が通常よりも約37%, 約10,000km走行済みが約24%大きく, 取付けによる燃焼効率の向上がみとめられる。約20,000km走行済みのCO₂濃度は通常とほとんど同じで, このことから点火性能の消失がみとめられる。

電極にカーボン, およびステンレスを使用した場合のCO濃度はほとんど同じで, CO₂濃度も大差がなく, 通常の場合よりもCOが低く, CO₂が大巾に増し, COの減少率とCO₂の増加率は未使用のT B-Dとほぼ同程度である。この場合は, マイカ板の厚さ0.4mm, シリコン板0.4mm, スプリングコイルの径1.2mmで, カーボン電極の場合には燃料消費量がやや小さく, ステンレス電極よりも有利とみられるが, 両者の効果には大差はない。

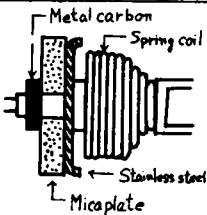
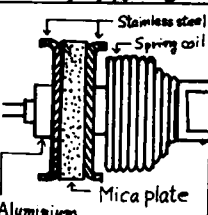
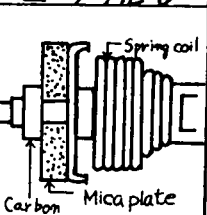
3-4-6 金属電極の使用による効果

点火改良装置の耐久性の劣化の最大原因としては, ギャップ放電によるカーボン電極表面の消耗から生じたカーボン微粒子が装置内部に付着して, 絶縁抵抗の不良化, 静電容量, 火花成分値の減少をもたらすと考えられる。そこで, 電極表面の消耗度が小さいメタルカーボン(Cu含量50%), アルミニウムおよびカーボンの硬度を変えて試作した4種(K-1~4)の性能を比較した。それぞれの内部構造の差異は表4-38に示す。表には構造の概略をも示し, 実験車(プリンス1961年型)のアイドル時(600rpm)について測定した成績は表4-39のとおりである。表には通常の場合, ならびにT B-Dについても示す。電極の規格を変えたK型の4種は燃料消費量(平均)が約1.4~1.5ℓ/hで通常よりかなり小さい。CO濃度は4.7~5.1%, CO₂濃度は約12.0~12.9%で, いずれもT B-Dと大差がなく, これらの点火性能はほぼ同程度とみられる。K型の4種のなかで燃料消費がもっとも大きいK-2と, もっとも小さいK-4との差は0.131ℓ/hときわめて小さく, CO濃度も最高値の5.05%(K-2)と最小値4.72%(K-4)との差は0.36%にすぎない。同じくCO₂濃度の差(0.91%)もきわめて小さく, これらの4種の混合気にたいする点火性能には顕著な差異がない。

K型(4種)およびT B-Dは, 燃料消費量が通常よりも約22~31%節減できる。また, CO濃度は通常の値にたいする減少率が約45~49%とほぼ半減する。H₂濃度の減少率は約46~72%で, O₂濃度のそれは約39~49%とかなり大巾な濃度低下を示す。すなわち, これらの装置の場合には供給空気中の酸素の利用率が大きくなり, 不完全燃焼成分

が大きく減少する。このため完全燃焼成分である $C O_2$ 濃度は通常の場合よりも約41～54%の増加率を示し、取付けによる燃焼効率の向上効果は顕著である。

表4-38 試作TB装置の概略

項目 NO	TBK-1	TBK-2	TBK-3	TBK-4	TB-D
組付け構造	Cu Mica plate Stainless steel	Stainless steel Mica plate Stainless steel	Carbon Mica plate Stainless steel	Carbon Mica plate Stainless steel	Carbon Mica plate Stainless steel
絶縁抵抗 RT (MΩ)	1000以上	1000以上	1000以上	1000以上	1000以上
静電容量 CT (P.F)	17	26	20	19	18～22
micaplate (mm)	M-5000 0.6±0.05	M-5000 0.6±0.05	M-5000 0.6±0.05	M-5000 0.6±0.05	M-5000 0.4±0.05
Carbon 硬度 (%)	Cu 50	S-2-H	S-3-H	S-3-H	S-3-H
ステンレス (%)	クロム 18 ニッケル 8	クロム 18 ニッケル 8	クロム 18 ニッケル 8	クロム 18 ニッケル 8	クロム 18 ニッケル 8
概略図				K-3と同じ	K-3と同じ

さらに、通常の場合、TB-D、ならびに試作K型4種を実験車に付け、アイドル時(600rpm)の排気からGLCで測定した炭化水素の成績は表4-40に各成分別に分類して示す。通常の場合には30種の炭化水素約4,060～4,970ppm(平均4,505.2ppm)が検出され、TB-Dでは約2,490～2,590ppm(平均2,543.6ppm)と平均43.5%の減少を示す。カーボン電極のかわりにメタルカーボンを用いたK-1は約2,480～2,590ppm(平均2,522.6ppm)で通常の値より44.0%減少する。硬度S-2-Hのカーボンおよびアルミニウム電極を用いたK-2は約2,350～2,600ppm(平均2,499.0ppm)で、通常よりも44.5%低い。硬度S-3-Hのカーボン電極を用いたK-3は約2,330～2,760ppm(平均2,534.0ppm)で、減少率は43.8%を示す。カーボンの硬度がK-3と同じで、静電容量が19P.F.のK-4は約2,270～2,370

表4-39 試作点火改良装置による効果

idle 600rpm チョークバルブ全開

項目 条件	Idle adjust- ment screw 閉鎖	燃料消費量 %			AFR 平均	manifold vac cm Hg	CO 平均%	CO ₂ 平均%	H ₂ 平均%	O ₂ 平均%
		最大	最小	平均						
取付け	720	2510	1869	1980	7.8	50	9.17	8.34	3.24	3.50
TB-D	540	1835	1441	1539	10.2	51	5.09	11.78	1.73	1.99
K-1	540	1641	1440	1496	9.8	51	4.69	12.14	0.96	1.77
K-2	540	1828	1245	1389	10.7	51	5.05	11.97	1.24	2.15
K-3	540	1624	1249	1365	11.2	51	4.72	12.36	0.92	2.04
K-4	540	1622	1294	1410	10.8	51	4.85	12.88	0.90	1.87

表4-40 炭化水素濃度(アイドル600rpm)

種類	検出値	TB-D	K-1	K-2	K-3	K-4
C ₁ -C ₄ paraffin	1695.2	901.4	913.8	916.3	875.4	833.3
C ₅ -C ₆ paraffin	972.5	582.2	542.1	522.6	553.3	525.8
olefin	1147.9	641.9	636.2	639.8	624.3	530.7
acetylene	607.5	376.8	388.3	358.0	437.2	372.5
diolefin	82.1	41.3	42.2	42.3	41.8	42.6
合計	4505.2	2543.1	2522.6	2499.0	2534.0	2325.9

PPM (平均2,325.9 ppm) で、減少率は48.4%とわずかに大きい。これらの試作品での炭化水素濃度の減少率からTB-DとK型には大差がなく、混合気にたいする点火性能がほぼ同程度と考えられる。使用した5種(TB-D, K型)の絶縁抵抗はいずれも1,000 MΩ以上で、静電容量値は17~26 P F とやや異なるが、この程度の静電容量値の違いによる点火性能には顕著な差異がない。K型4種を付けた場合の炭化水素の構成比(平均)はC₁~C₄:パラフィン36.0%, C₅~C₆:パラフィン21.7%, オレフィン25.3%, アセチレン15.8%, ジオレフィン1.7%を示し、TB-Dの場合とほぼ同様である。また、通常の場合にくらべると、K型4種の場合にパラフィンの割合がわずかに小さく、アセチレンの割合がやや大きい。試作品を付けた場合の炭化水素のなかでは、n-pentane, i-pentane, n-hexane の燃料成分、およびmethane, n-butane, ethylene, propylene acetylene の燃料解裂成分が比較的高い濃度を示す。以上のことから、点火改良装置のカーボン電極の損耗を防ぐためにメタルカーボン、アルミニウムを使用した場合の混合気にたいする点火性能には明らかな差異はなく、現在使用されているTB-Dとほぼ同程度の性能を示す。

これまでの測定は実験車のアイドル時(600 rpm)で、エンジンに負荷がかけられた場合には異なるとも考えられるから、これらの装置を付けた場合の加速性能にたいする影響を測定した。すなわち、トランスミッションの位置を第二速(セカンドギヤー)とし、アクセルペダルを一杯に踏み込んでスロットルバルブを全開にし、実験車の停止状態(アイドル)から車速が40 km/hに達するまでに要する時間と、その間に消費された燃料量を測定した。その結果は表4-41に示す。試作装置およびTB-Dを付けた場合の発進加速時間(0 km/hから40 km/hまで)は7.1~8.2秒で、K-4は平均7.3秒と最も短く、K-2が平均8.0秒と最も大である。TB-Dでは平均7.6秒で、K型4種とほとんど大差がない。通常の場合は平均8.6秒で、TB-Dとは平均値で1.0秒の違いを示す。TB-DおよびK型を付けると、発進加速時間が通常の場合よりも約7~15%短縮され、この時期に混合気の燃焼効率が向上して、それだけエンジンの加速性能が増強されたことになる。また、発進加速時(0→40 km/h)に消費された燃料量についてみると、K型の4種は2.6~3.4 mℓと大差がなく、TB-Dは平均2.83 mℓでこれとほぼ同程度を示す。一方、通常の場合は平均3.66 mℓで、K型およびTB-Dよりも平均値で6.1~9.3 mℓ多く消費される。発進加速時間と燃料消費量から1秒当りの消費量に換算すると、点火改良装置の効果が一層顕著にみとめられる。すなわち、TB-DおよびK型4種は燃料消費が通常の場合よりも約14~23%節減される。

発進加速と同様に、トランスミッションの位置を第四速(トップギヤー)とし、実験車を30 km/h定速で走行させている際に、スロットルバルブを全開にして車速が50 km/hに達するまでの加速性能についても検討した。その結果、4種のK型による加速所要時間は平均値で11.6~12.7秒で、TB-D(平均11.9秒)とほぼ同程度を示し、通常の場合

表4-41 試作点火改良装置による発進加速性能にたいする効果
トランスミッション 第二速
0 km/h → 40 km/h スロットルバルブ全開

測定項目 条件	idle adjust- ment screw 開度の	所要時間 秒			所要燃料 ml			Fue. 量 ml	燃 料 比	
		最大	最小	平均	最大	最小	平均		時間	燃料
取付けなし	720	8.9	8.2	8.6	3.9	3.4	3.66	4.25	1.000	1.000
TB-D	540	7.8	7.4	7.6	2.9	2.8	2.83	3.72	0.884	0.799
K-1	540	7.9	7.6	7.7	2.9	2.8	2.86	3.71	0.895	0.808
K-2	540	8.2	7.7	8.0	3.4	2.8	3.05	3.81	0.930	0.862
K-3	540	8.0	7.2	7.8	3.2	2.9	3.00	3.85	0.907	0.847
K-4	540	7.9	7.1	7.3	3.1	2.6	2.73	3.74	0.847	0.771

は平均16.6秒とかなり大である。すなわち、試作装置を付けると加速所要時間が24~32%短縮される。また、定速からの加速条件(30 km/hから50 km/h)での燃料消費量も4種のK型(平均3.26~3.50 mℓ)とTB-D(平均3.42 mℓ)とは大差がなく、通常の場合は平均4.99 mℓとかなり大きく、K型およびTB-Dで消費燃料が約29~35%節減される。

以上のことから、電極表面の損耗による性能低下を防ぐために、金属電極を使用した場合には混合気にたいする点火性能にほとんど変化がなく、点火改良装置の寿命増大に有効とみられる。

3-5 総 括

本研究に使用した点火改良装置の耐久性(約1~2万km走行)は、米国の排気処理装置の耐久基準(50,000マイル、約8万km)には及ばず、性能劣化の主原因はカーボン電極表面の被劣損耗にある。そこで、点火改良装置の内部規格を変化させた場合の点火性能の差異、ならびに金属電極を使用した場合の変化を検討した。その結果を要約するとつぎのとおりである。

1 電極にカーボンおよびステンレスを使用した場合の点火性能には差異がなく、マイカ板の厚さ(0.1~0.9mm)およびスプリングコイルの太さ(1.0mmと1.2mm)による性能変化も顕著でなく、スプリングコイルを取除くと点火性能が若干低下する。

2 点火改良装置の静電容量が20~23PFでCO(5.34%)排出がもっとも小さく、この範囲以外のPF値では燃焼効率が大幅に低下する。また、火花成分値が40~48 μ A(CO 5.96%)で混合気の燃焼効率がもっとも高い。しかし、静電容量と火花成分の相互関係については明らかにすることができなかった。

3 電極の耐久性を増すためにカーボンのかわりにメタルカーボンおよびアルミニウムを電極(4種)の場合には、アイドル時(600rpm)の燃料消費量(約1.4~1.5 ℓ /h)、CO濃度(4.7~5.1%)とも顕著な相違がなく、これらの点火性能はT B-Dとほぼ同程度である。

さらに、発進加速性能(0km/hから40km/hへの加速)について検討した。すなわち、試作装置(4種)の所要時間(7.1~8.2秒)と消費燃料量(2.6~3.4 ℓ)には大差がなく、T B-Dとほぼ同程度で、通常の場合より加速時間および燃料消費が顕著に減少する。また、30km/hから50km/hへの加速時にもT B-Dと顕著な差がない。

以上のことから、点火機能の低下を防ぐために電極に金属を使用した場合には、点火能力にはほとんど影響がなく、装置の耐久性を大幅に増進させるうえで有効と考えられる。

しかし、点火改良装置の機能および耐久性を最大限にまで高めるためには、本測定では明らかにできなかった静電容量と火花成分の相互関係および材質との関係、さらには火焰伝播速度との関係について今後の検討が必要である。

第4節 アイドル調整方式における問題点

4-1 研究目的

自動車排気による大気汚染防止と自動車の対米輸出から、わが国では1968年から排気ガス規制が実施された。⁴⁵⁾ このため、排気処理の関心が急速に高まり、¹⁰³⁾ 米国技術の導入など種々の方法が論じられ、¹²⁷⁾ 触媒燃焼装置⁹⁶⁾ 触媒式浄化マフラ、⁸⁸⁾ ブローバイガスの防止装置¹²⁸⁾ などが述べられた。しかし、それはいずれも実用性、耐久性、性能、費用などに多くの問題点があり、今後の発展が期待される。

このようなことから、北川⁹⁴⁾ は、わが国の都市の大気汚染が道路上とその付近に限定され、交差点や交通渋滞地での状態、すなわちアイドリングでの排出防止でほぼ解決されると述べ、バリ方式⁵²⁾ と呼ばれるアイドル調整法(スロー調整法)を推奨した。しかし、その具体的な実施法、ならびに、調整程度とエンジンへの影響などは明らかでない。本節では、エンジンの走行性能と排気成分にたいするアイドル調整の効果と、調整法の具体的実施基準について検討した。さらに、本章第2節で検討した点火改良装置を付けた場合とも比較した。

4-2 実験方法

実験車(プリンススカイライン、1500cc、1961年型)の気化器(日本気化器製、2D-32A型、二連式ダブルベンチュリー降流型、チョークスロットル連動方式)¹¹⁷⁾ は図4-39に示す。アイドル時には、プライマリースロットルバルブ(吸入空気量を制御)の開度2.5°(全開)で、スローポートから流入する燃料量はアイドルアジャストメントスクリューで調整され、定格時の開度は450°¹¹⁷⁾ である。指定回転数に600rpm、インテークマニホールドバキュームは約500mmHgである。

本節では、アイドルアジャストメントスクリューの開度を180°~1080°に変えて測定した。その際、アイドルア

ジャストメントスクリー（プライマリースロットルバルブの開度）で回転数を600rpmに調整して実験条件とし、第三章で述べた方法で燃料消費、加速性能、および排気成分を測定した。

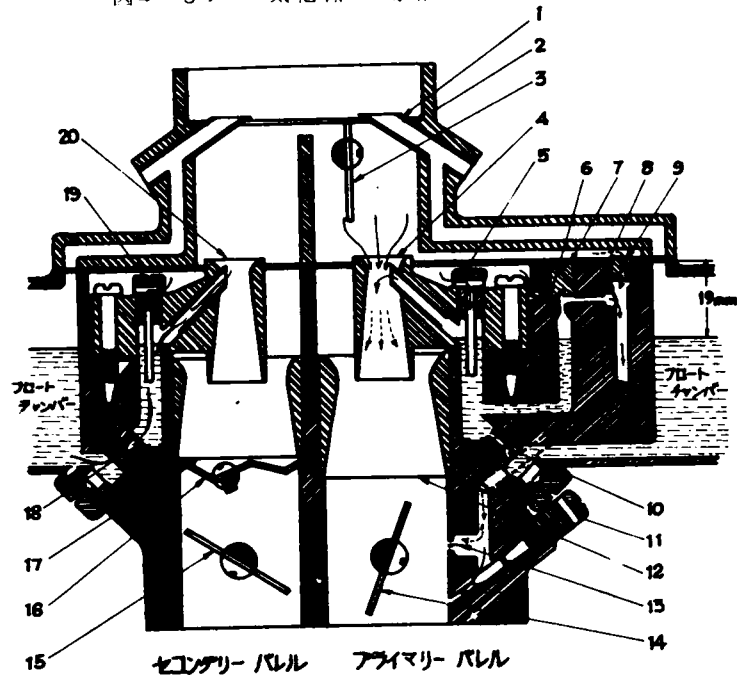
4-3 アイドル調整法（スロー調整）
パリ方式、または神奈川方式⁵²⁾とも呼ばれ、北川⁹⁴⁾はパリ市の様子をつぎのように解説した。パリは交通渋滞時にCOが100ppmをこえる。アイドリング時の回転数を正規として気化器のアイドル調整弁（燃料調節）とスロットル調整弁（空気調節）を加減すると排気のCOが著しく減少する。

パリの例では、CO濃度分布が表4-42の1,300台に実施したところ、CO 2.5%をこえるものが皆無となった。また、室内駐車場では実施前の最高CO 180ppmが38ppmに減少した。さらに、わが国の自動車のベンチテストで、調整前のCO 2.5~14.2%が調整後には1.0~4.8%に低下した。これらのことから、わが国の排気による大気汚染はこの方式で確実に防止できると強調した。また、吉田¹²⁹⁾はパリ方式の実施法を述べた。すなわち、自動車整備基準のアイドリング調整はベスト

に合わせると示され、それは絞り弁調整ねじを開いて指定アイドリング回転よりやや高い回転としたのち、アイドル調整ねじでもっとも高い回転数にセットする。つぎに、絞り弁調整ねじで回転を指定数以下に落とし、再びアイドル調整ねじでもっとも高い回転数とする。このように絞り弁調整ねじ、アイドル調整ねじを交互に操作して指定回転数とする。パリ方式は、通常の整備法と同じ手段で指定回転数より20rpm高い点でベストアイドルとし、そこで、アイドル調整ねじを絞めて薄い混合気とし、正規のアイドリング回転数にすると述べた。さらにパリ方式では、アイドリング回転が高くなっても燃料消費量および排気のCO濃度は一定で、かつ通常のベストアイドリング方式よりもともに低い。しかし、アイドルでのエンジンの要求気液率の範囲はきわめて小さく、マニホールド圧で±20mmHg程度で、この間に変化できる絞り弁の開度はエンジンの安定度からも回転数にして20rpm程度である。このため、エンジンや気化器の構造からすべてのエンジンにこの方式が適用できるとはかぎらず、エンジンのシーゼリング現象などから、パリ方式の実施には考慮すべき点が多いと述べた。湯沢⁹³⁾はアイドル時のCO濃度を図4-40のように示した。アイドル時の濃度による効果がみられるのはせいぜい40

Km/hまでで、COの本質的な減少は燃料の劣化によるとしてアイドルノズルの改良について述べた。一方、小早川⁵⁵⁾は、アイドル調整法をア

図4-39 気化器の概略



- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1. エアー ベント スクリュー | 11. アイドル アジャスト スクリュー |
| 2. エアー ホース | 12. プライマリー ラージ ベンチュリー |
| 3. チョーク バルブ | 13. スロー ポート |
| 4. プライマリー スモール ベンチュリー | 14. プライマリー スロットル バルブ |
| 5. プライマリー メイン エアー プリード | 15. セカンダリー スロットル バルブ |
| 6. No.1 スロー エアー プリード | 16. ジェット バルブ |
| 7. スロー ジェット | 17. セカンダリー ラージ ベンチュリー |
| 8. スロー メータリング ジェット | 18. セカンダリー メイン ジェット |
| 9. No.2 スロー エアー プリード | 19. セカンダリー メイン エアー プリード |
| 10. プライマリー メイン ジェット | 20. セカンダリー スモール ベンチュリー |

表4-42 エンジンスロー調整前後における⁹⁴⁾

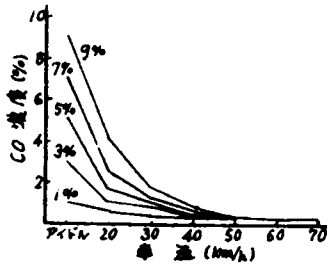
排気ガス中一酸化炭素濃度

(パリ市警視庁 1964年)

調整前		調整後	
排気ガス中のCO濃度	自動車数(台)率	排気ガス中のCO濃度	自動車数(台)率
2.0~3.0	10.0	1.0~1.5	25.8
3.1~4.0	17.5	1.6~2.0	45.5
4.1~5.0	44.7	2.1~2.5	21.5
5.1~6.0	20.7	2.6~3.0	8.2
6.1以上	8.5	3.1以上	0

アイドルコントロールプランと呼び、アイドル時だけでなく走行時のCO排出をも減少させるところに意義があると述べ、パリ市と日本の現状からこの方式による効果は非常に大きいと述べた。しかし、アイドル調整法でアイドル時のCO濃度を減少するために、燃料流入量を減少させて吸入空気量を増大させると、(1)始動が困難になる。(2)エンストを起し易くなる。(3)加速力がなくなる。(4)気化器の息付きが生じ車にショックを与える。(5)燃料消費が悪くなるなどの不都合が生じ易い。これらは、いずれも希薄すぎる混合気となって燃焼しないサイクルが現れるためで、このようなクレーム問題がパリ市でもみられたと述べた。

図4-40 アイドルCO濃度を変えたときの
各車速のCO濃度⁹³⁾



4-4 測定成績ならびに考察

4-4-1 アイドルアジャストメントスクリューの開度 と燃料消費ならびに気液率の関係

一般に、エンジンのアイドル回転だけを維持するには吸入混合気の気液比が6~13のどの値をとっても可能である。

¹⁰⁹⁾ また、アイドル時のエンジンの状態は走行時の出力特性に大きく関係する。¹¹⁹⁾ それゆえ、ベストアイドル点で最大の燃焼効率を示す気液比(理論比)に気化器系だけを調整すると、エンジン的高負荷運転時および高速回転時に燃料

供給量の不足が生じて高い希薄燃料状態となり、エンジンの出力低下が著しく大となる。¹⁰⁸⁾ さらに、加速時などでエンジンの出力が連続的に変化する場合には、気化器からの混合気の供給が出力変化に十分追従しないこともおこり、実際の運転上で重大な危険を生じる。このような点から、ベストアイドルは走行時の出力特性を考慮してやや濃厚燃料側に調整されているのが通常で、整備基準ならびに指定アイドル回転数が規定されている。¹²¹⁾ 前述の神奈川方式ではこれらの点についての資料が明らかでなく、ただパリ市でアイドル時の気液比を1.25くらいに調整されたと述べている¹²⁹⁾ にすぎない。

本実験に使用した自動車の定格時のアイドル回転(回転数600rpm, インテークマニホールド圧約500mmHg)はプライマリースロットルバルブの開度2.5°(全開)で、アイドルアジャストメントスクリューの開度45.0°でえられる。¹¹⁷⁾ しかし、実験時までのエンジン各部の疲労損耗が大きくアイドリング維持のための条件は若干変化している。スロー系の吸入空気量を制御するチョークバルブを全開とし、スロットルバルブの開度を2.5°とし、回転計およびバキュームプレッシャーゲージで調べたところ、アイドルアジャストメントスクリューの開度が72.0°でもまともな良好なエンジンの調子、すなわちベストアイドル点がえられた。この場合の開度はスクリューを完全に締めて燃料の流入を閉じた点からの回転角度を示すもので、本測定時にはスクリューの開度を定格時より27.0°余分に開く必要がみとめられ、アイドル維持のための燃料必要量が増大していることを示した。さらに、点火改良装置を付けた場合はアイドルアジャストメントスクリューの開度54.0°がもっとも良好で、吸入混合気の燃焼効率の向上によつてアイドル維持のための燃料量が節減された。実験車のアイドルアジャストメントスクリューの開度を18.0°~108.0°に変え、それぞれプライマリースロットルバルブで回転数を600rpmに調整し、各開度条件について差異を検討した。アイドルアジャストメントスクリューの開度を変化させた際の燃料消費量(ℓ/h)、気液率、インテークマニホールドバキューム圧($cmHg$)の成績は図4-41に示す。スクリューの開度18.0°で燃料消費量($1.53\ell/h$)がもっとも小さく、スクリュー開度とともに大きく増加し、108.0°開き($3.97\ell/h$)では18.0°開きの約2.6倍に達する。各開度条件について気化器入口での空気吸入量と消費燃料量から求めた気液率は、スクリュー開度18.0°(1.35)から開度54.0°(7.2)まで急速に低下し、108.0°開き(6.1)ではきわめて高い濃厚燃料状態を示す。インテークマニホールドバキューム圧は18.0°開き(55.9mmHg)から直線に近い減少傾向で、108.0°の40cmHgまで低下する。実験車の定格時(600rpm, アイドルアジャストメントスクリューの開度45.0°)の性能曲線¹¹⁷⁾から求めた燃料消費量が $2.82\ell/h$ で、気液率が9.8であることは第三章で述べた。本実験時の開度45.0°では、燃料消費量($2.69\ell/h$)は定格時と大差はないが、気液率(8.8)はやや高い濃厚側で、空気吸入量の減少、すなわち吸入バルブタイミングの機能低下¹⁰⁸⁾がみとめられる。それゆえ、エ

エンジンの出力特性を考慮しない場合には、アイドルアジャストメントスクリーウの開度を小さくするアイドル調整法で吸入気の気液率が希薄側（理論比例）に移り、燃料の利用効率を向上でき、未燃焼成分の排出減少がえられることになる。

4-4-2 スクリューの開度と無機ガス成分

アイドルアジャストメントスクリーウの開度を 180° から 1080° に変え、排気の無機ガス濃度をGLCで測定した。使用カラムはActivated charcoal およびMolecular sieve 5 Aカラムで、各条件における排気をマイラーバッグに採取したのち分析した。スクリーウの各開度における成績は図4-42に示す。CO濃度は開度 180° （2.05%）から開度 720° （9.92%）まで急増加し、 1080° 開きでは10.53%ときわめて高い。H₂ およびO₂ 濃度もスクリーウ開度とともに増加を示すが、開度 900° ～ 1080° では大差がない。CO₂ およびN₂ 濃度の傾向はほぼ同様で、スクリーウ開度の増加につれて減少を示す。アイドルアジャストメントスクリーウの開度が大きくなるにつれて、シリンダー内へ吸入される燃料量が増加するが、吸入された燃料の全てが燃焼に利用されず不完全燃焼成分であるCO、H₂ 濃度が増大し、完全燃焼成分のCO₂ 濃度が低下する。このような傾向は、Activated charcoal カラムによる分析の際にAirピークのつぎに現れたCH₄ピークの高さの変化にも顕著にみとめられた。すなわち、スクリーウ開度 540° でのCH₄ピークの高さを基準とすると、 180° 開きでの高さは0.092、 360° 開き、0.243、 720° 開き、2.286、 900° 開き、3.143、 1080° 開き、3.343となり、 1080° 開きでのCH₄ピークの高さは 180° 開きの約36倍に達する。クロマトグラム上の成分ピークの高さは濃度または絶対量にほぼ正比例する¹³⁰⁾から、スクリーウの開度が大きくなるにつれて燃料消費量が増し、排気中の未燃焼炭化水素が著しく増大することを示す。これらのことから、アイドル調整方式でアイドルアジャストメントスクリーウの開度を小さくすると、吸入燃料の大幅な節減および未燃焼成分の排出減少が顕著にできるとみとめられるが、この場合にはエンジンの出力についての考慮がない。

4-4-3 加速時におけるアイドル調整の影響

アイドル調整（スロー調整）方式は、燃料の吸入量を減少させ、COおよび炭化水素の減少効果が顕著であるが、燃料供給の減少程度やエンジンの負荷時の影響という重大な問題点が残る。そこで、アイドルアジャストメントスクリーウの開度を 180° から 1080° 開きに変え、実験車の走行停止からの加速条件について検討した。加速条件はトランスミッションの位置を第二速（セカンドギヤー）とし、アクセルペダルを一杯にふみ込みスロットルバルブの開度を全開とし、実験車が平坦な舗

図4-41 アイドルアジャストメントスクリーウの開度による燃料消費、気液率の変化

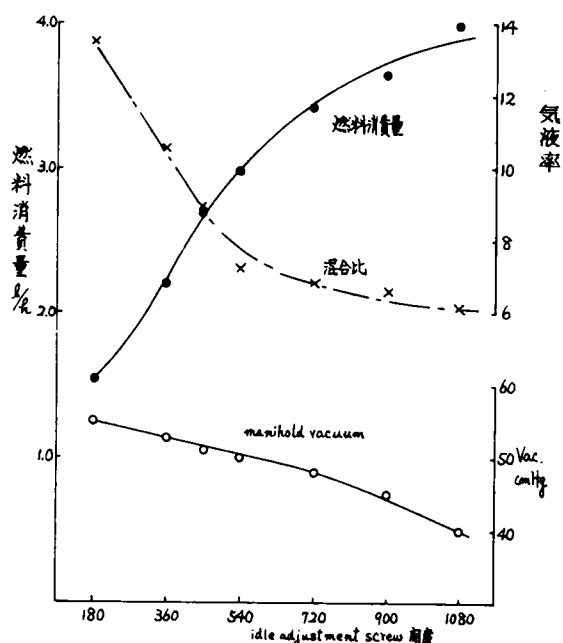
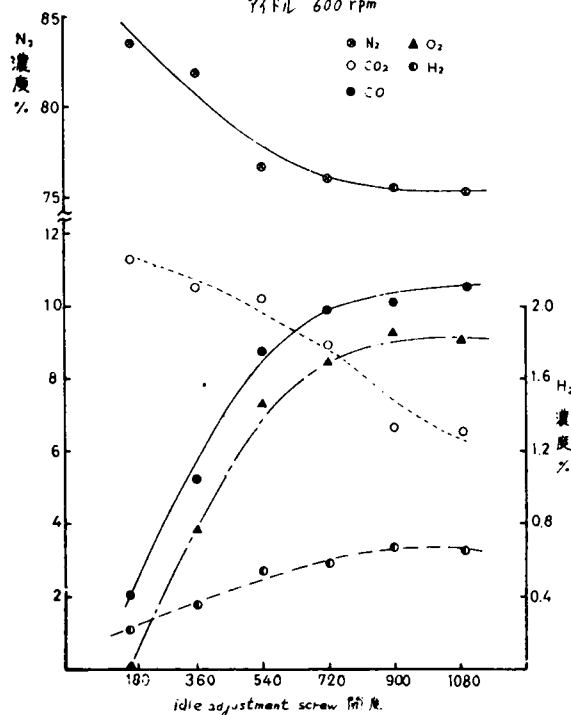


図4-42 アイドルアジャストメントスクリーウの開度による排気組成の変化
アイドル 600 rpm



装道路上で停止状態から20 km/hの速度に達するまでの発進加速とした。この場合には、チョークバルブは全開としてアイドル時のエンジンの回転数はいずれも600 rpmに調整し、エンジンの温度差による影響を除くために約30分間のアイドル運転ののちに測定した。

アイドルアジャストメントスクリーウの開度と20 km/hまでの加速に要する時間(平均値)を図4-43に示す。図には点火改良装置を付けた場合についても示す。所要時間はタコグラフ(24分, 1回転)の記録の解析から求めた。測定値の誤差は±0.05秒である。点火改良装置を付けない通常の場合には、スクリーウの開度が180°および360°開きで、エンジンのアイドル回転を保つことはできるが、スロットルバルブを開いて実験車を発進加速させるとエンジンが急停止を起こすすなわち、エンジンに負荷がかけられると燃料量の不足により、いわゆるエンストを起し、このような開度でのアイドリングのセッとはいかにCOの排出が少ないとしても実際上は不能である。所要時間はスクリーウの開度405°(6.18秒)から開度540°(5.70秒)まで急激に減少し、さらに開度が大きくなるとやや減少して、開度720°で最小値(平均5.66秒)を示す。さらに、スクリーウの開度が大きくなると所要時間が大巾に増大する。このことは、吸入混合気の気液率がある範囲よりも低いとエンジンの出力が大巾に低下する¹⁰⁷⁾ ことによる。実験車の通常の場合には、アイドルアジャストメントスクリーウの開度720°が発進加速性能上もっとも至適な条件である。

図4-43 アイドルアジャストメントスクリーウ

の開度と加速所要時間

トランスミッション; 第二速

車速; 0 km/hから20 km/h

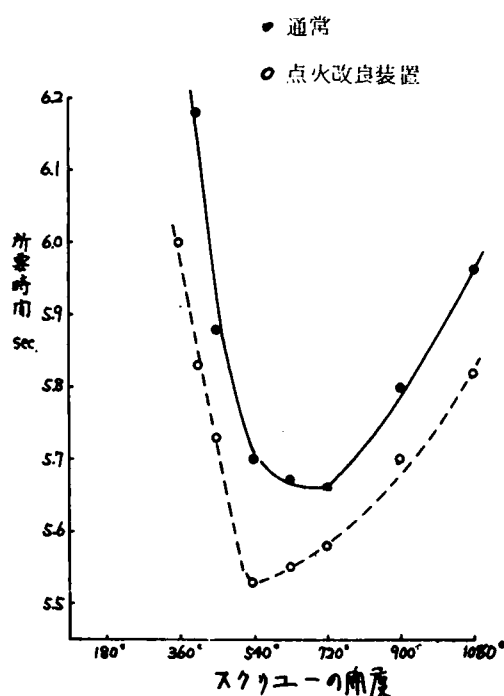


表4-43 定速走行からの加速における差異

トランスミッション; 第四速

30 km/h → 50 km/h スロットル全開

項目 条件	開度	所要時間 sec			所要燃料 ml			1秒当りの燃料 ml
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	
通常	720°	16.9	14.9	16.4	58.1	45.6	53.2	3.24
点火改良装置	540°	12.8	11.3	11.7	42.7	33.3	34.2	2.92

同様に、点火改良装置を付けて測定した発進加速時の所要時間は通常の場合よりも大巾に短縮され、アイドルアジャストメントスクリーウの開度360°でもエンストは起こらないが、所要時間(6.00秒)はかなり大きい。スクリーウの開度540°(平均5.53秒)で最小となり、さらに開度が増すにつれて、所要時間が増大して、開度1,080°では5.82秒を示す。点火改良装置を付けた場合の発進加速時間の短縮率は1.4~5.7%(平均2.7%)となり、この装置によって混合気の燃焼速度が著しく促進され、より少ない燃料量で所要の出力が確保できる。点火改良装置を付けた場合のアイドルアジャストメントスクリーウの至適開度は540°で、通常の場合にくらべてスクリーウの半回転分(180°)だけ燃料の流入を節減できる。

さらに、トランスミッションの第四速(トップギヤー)で、平坦な舗装道路上を車速30 km/hで走行している際に、スロットルバルブを全開とした急速加速を行ない、車速が50 km/hに達するまでの所要時間および燃料消費を測定した結果は表4-43に示す。表には点火改良装置を付けた場合についても示す。通常の場合はアイドルアジャストメントスクリーウの開度を前述の結果から、最適開度の720°に、点火改良装置を付けた場合は540°開きとした。通常の所要時間にたいして点火改良装置を付けた場合の所要時間は28.7%短縮され、その間の燃料消費量も35.7%減少する。所要時間および消費燃料量から求めた毎秒の燃料消費速度は通常(3.24 ml/sec)にたいして点火改良装置では約10%減少する。

アイドル調整法(スロー調整)でアイドル時の供給燃料量を減少させると、排気中のCO濃度が顕著に減少し、排気による大気汚染の防止効果が大きいとみられるが、

この方式の実施には自動車の走行時のエンジン性能に与える影響を十分考慮して、もっとも至適なアイドル開度（アイドルアジャストメントスクリー）にセットすることが重要である。一般にいわれているように簡単にアイドル時の排気のCO濃度とエンジンの回転数のみを指標とした調整方法は、実際の自動車の走行時にきわめて重大な障害を起す可能性が大きく、はなはだ危険である。これらことからアイドル調整法はあくまでもアイドルアジャストメントスクリーの開度が過度に大きすぎて燃料吸入量が多すぎる場合に開度を正常位置に再調整する、異常開度の調整が基本原則で、最適開度以下に締め込むことは不利である。これはエンジンの整備保安基準の適正な実施と同義であり、この効果はエンジンの保守がもっとも良好な状態では排気として排出される未燃焼成分が約30%減少する⁵⁶⁾と述べられていることに相当する。

最近、大阪府、市および大阪府警察本部¹³¹⁾では自動車排気ガス対策のためのエンジンアイドリング調整実施法としてアイドリング調整ネジ（アイドルアジャストメントスクリー）を最良の開度から締め込んで、回転数を正規より15～20rpm下げたのち、スロットル調整ネジ（アイドルアジャストメントスクリー）を動かして正規の回転数にもどすと指示した。これは前述の吉田¹²⁹⁾が述べたのと同様である。ここで、調整基準の回転数は簡単な電気式タコメーターが使用されるのが普通である。タコメーターの指示誤差は $\pm 2\%$ 程度^{108) 114)}といわれ、本実験に使用したタコメーター（チェンナップテスターV-212）の誤差は表4-44に示すとおり、 $-2.3\sim+2.6\%$ である。それゆえ、一般の自動車のアイドル回転（400～600rpm）では $-10\sim+16\text{rpm}$ が誤差の範囲に入り、アイドル調整で指示されている15～20rpmの変化には大きな意味がなく、調整基準としては適当ではない。さらに、アイドルアジャストメントスクリーの開度の最適開度は、本実験でもみとめられたようにエンジンの老化につれて増大するから、回転数のみで最適開度を見出すことは容易でない。また、エンジンの至適アイドルセツトはエンジン、気化器の種類ならびに構造によっても異なることから一律に混合比を規定する方法も妥当とはみられず、マニホールドバキューム、出力性能の点から十分な検討が必要である。

以上のことから、アイドル調整法の具体的な実施基準には、各エンジンに指定された回転数、マニホールドバキューム値にアイドルアジャストメントスクリーの開度をセットする通常の整備基準をそのまま適用し、エンジン保守の徹底を計るのがもっとも妥当と考えられる。

一方、点火改良装置を付けた場合には、排気中の未燃焼成分の減少、燃料消費の節減、加速性能の向上がアイドル調整法よりも顕著にみとめられた。すなわち、この装置を付けてアイドルセツトを至適にした場合の効果は大気汚染の防止と自動車の走行性能確保の上からきわめて有効である。

4-5 総 括

実用的な排気処理装置の開発が不十分なことから、アイドル時の吸入燃料量を節減して未燃焼成分の排出を防止するアイドル調整方式が提唱された。しかし、具体的な実施方法ならびに走行性能に及ぼす影響が明らかでない。本節では、アイドル調整法を系統的に行なって排気成分、燃料消費および走行性能に及ぼす影響を検討した。すなわち、実験車（プリンススカイライン1500cc 1961年型車）の気化器のアイドルアジャストメントスクリーの開度を $180\sim1080^\circ$ に変え、回転数を600rpmに調整して検討した。さらに、点火改良装置を付けた場合のアイドル調整効果についても測定した。その結果を要約するとつぎのとおりである。

1 実験車のアイドル時における燃料消費量はアイドルアジャストメントスクリーの開度 180° （ $1.53\ell/h$ ）でもっとも小さく、スクリー開度とともに増加し、開度 1080° （ $3.97\ell/h$ ）でもっとも大きい。吸入気の気液率は開度が増大するにつれて低下し、アイドル調整法による吸入燃料量の減少効果は明らかである。

2 アイドルアジャストメントスクリーの開度 $180^\circ\sim1080^\circ$ で排気成分の濃度はCO 2.05～10.53%，CO₂ 11.28～65.2%を示し、スクリーの開度が大きくなるにつれてCO、H₂濃度は増し、CO₂濃度は減少する。

3 実験車の急速加速（停止から20km/h）の所要時間はスクリーの開度 $180^\circ\sim360^\circ$ で、エンジンの急停止（エンスト）をおこし、實際上このような開度は不能である。開度 720° で所要時間が最小（平均5.66秒）を示し、さらに開度が大きくなると所要時間は大巾に増加した。これからのことから、単に回転数を目安として燃料を節減するアイ

ドル調整法は加速性能の低下を生じるおそれが多い。また、エンジンの老化からスクリーンの最適開度が増大して必要燃料量が増加する。

4 アイドル調整法は、アイドルアジャストメントスクリュー（アイドル調整ネジ）の異常開度の適正化が基本で、最適開度より締め込むことは不利である。このことは通常のエンジン整備基準の適正な実施に相当する。また、アイドル調整法の実施目安（回転数15～20rpmの移動）は計測器の誤差範囲と大差がなく、むしろ、指定回転数、マニホールドバキュームから開度をセットする整備基準をそのまま適用し、エンジン保守状態の向上を普及させるのが有効である。

5 点火改良装置を付けた場合には、スクリュー開度540で発進加速（0km/hから20km/h）の所要時間が最小（平均5.53秒）を示し、至適アイドル開度が通常の場合より小さく

なり、燃料吸入量を大巾に節減できる。また、通常より加速所要時間が約1～6%（平均2.7%）短縮され、加速性能の向上がえられる。さらに、30km/h定速（第四速）から50km/hへの加速条件で、点火改良装置を付けると通常の場合より加速所要時間は約29%短縮され、燃料消費量が約36%節減される。

以上のことから、アイドル調整法は未燃焼成分の排出が減少し、燃料の節減効果が顕著であるが、調整の度合はエンジンの加速性能に大きく影響を及ぼし、不適正な調整は実際の走行時に出力低下などの危険を生じる。それゆえ、各実施車の車種、車令、エンジン状態などについて十分検討し、至適アイドルにセットする必要がある。このような方法を広く一般に普及させるのは、測定計器、ならびに調整技術の点から簡単でなく、むしろ通常のエンジンの整備、保守の徹底がもっとも有効と考えられる。

第5節 二次空気注入装置の問題点

5-1 研究目的

米国およびわが国で自動車排気にたいする規制が実施され、実用車に種々の排気処理装置が採用されている。しかし、それらの多くはエンジンの改造、出力低下、耐久性などとともに、製造および維持費が高価で、中古車など一般への普及性がない。このため、実施が簡単な実用的装置の開発がのぞまれ、⁹⁹⁾ 前述のアイドル調整、点火改良装置とともに二次空気注入装置がわが国で提唱された。これらはいずれもエンジンの改造が必要でなく、コストも安く、行政的に普及推進が容易であるとして取り上げられた。^{131) 132)} しかし、それらの効果ならびに取付けた場合の影響についての資料がほとんどない。本節では二次空気注入装置の取付け効果と問題点についてアイドル時および発進加速時の測定から検討した。

5-2 二次空気注入装置の概略

この装置はエンジンのインテークマニホールドに取付けて、シリンダー内の真空度（マニホールドバキューム）の増減によって作動するダブルスプリング制御のボール弁からなる真空制御装置である。この装置の目的は、エンジンの吸引力に負担をかけすぎないようにするために真空度を減らすとともに、吸入燃料が完全燃焼するために必要な空気を気化器を通さずに送り込むことである。

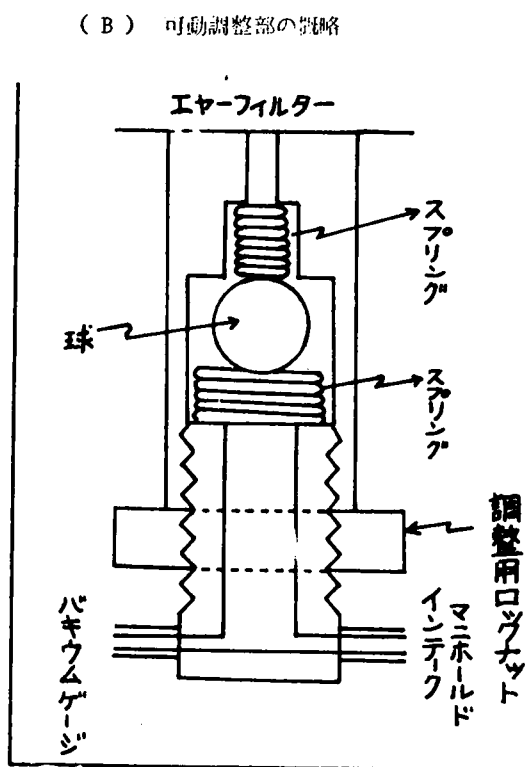
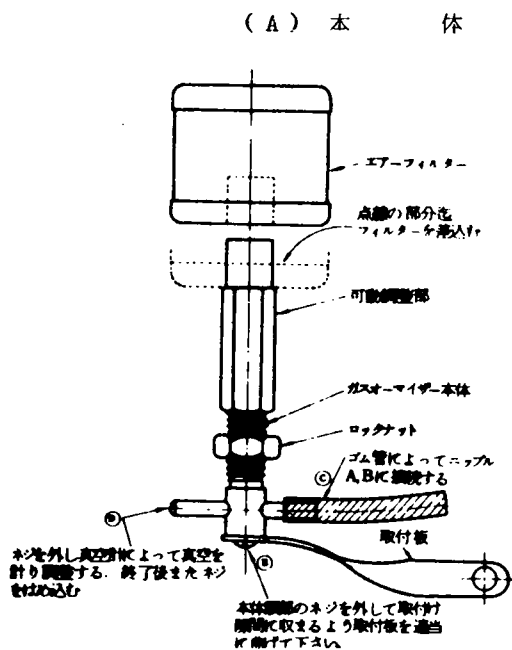
装置の概略は図4-44に示すとおりで、主なる部分は、エアーフィルター、可動調整部、インテークマニホールドおよびバキュームゲージに連結するパイプ、車体への取付け部からなる。インテークマニホールドへ流れる空気量を調整する可動調整部の構造は図の(B)に示すとおりで、球状のチェック弁とこれをはさむスプリングおよびスプリングの固定位置を変えるロックナットからなる。球状弁をはさんでいる上下のスプリングの弾性が異なっており、インテークマニホールドの真

表4-44 エンジンタコメーターの誤差
(チューナップテスターV-212)

回転数 標準	rpm 計器指示	誤差 %
1000	1010	+1.4
3000	3080	+2.6
1000	1010	+1.8
2000	2020	+1.0
4000	3920	-2.0
6000	5920	-1.4
3000	2960	-1.2
1000	1020	+2.0
3000	2940	-2.0
4000	3910	-2.3
3000	2930	-2.3
3000	2950	-1.7

空度が12~15 in Hg (30~40 cmHg) 以下の場合には弁が閉じたまま保たれる。アイドル時や減速時にスロットルバルブが閉じてマニホールド内の真空度が高まり、バキュームが12~15 in Hg をこえると、弁が開いてエアーフィルターを通った外気がマニホールドへ導入され、気化器を終た混合気とともにシリンダー内へ吸入される。すなわち、アイドル時や減速時の吸入混合気の気液率を高くすることによって不完全燃焼成分の減少をはかる装置である。

図4-44 二次空気注入装置の概略



5-3 測定成績ならびに考察

実験車は、第三章および本章のこれまでの測定に使用したプリンススカイライン、1500cc、1961年型車（既走行距離、約7万5千km）と1964年型車（既走行距離、約2万3千km）で、測定項目ならびに方法は第三章で述べたとおりである。二次空気注入装置は、メーカー指定にしたがって、アイドル時のインテークマニホールドバキュームを40 cmHgに調整した。実験車の定格時¹¹⁷⁾のアイドル（600rpm、インテークマニホールドバキューム50 cmHg）は、アイドルアジャストメントスクリーンの開度450°で、1961年型車はエンジンの老化により最適開度が720°に、1964年型車は540°に移行した。¹³³⁾ この両車に二次空気注入装置を付けた場合にスクリーンの開度には変化がなく、インテークマニホールドバキュームが指定の40 cmHgとなる。

実験車の走行を停止させ、トランスミッションの位置を中立としたアイドル時（600rpm）の燃料消費、気液率、および排気中のCO、CO₂濃度は表4-45に示す。表には二次空気注入装置を付けない通常の場合についても示す。

表4-45 二次空気注入装置の取り付けによる変化

実験車	条件	アイドル時 スクリーン開度	エンジン 回転数 rpm	マニホールド バキューム cmHg	燃料消費 ml/min	気液率 g/g	燃費 km/l	燃焼温度 CO ₂ % CO%
1961年型	取付けなし	720°	600	50	34.28	29.29	7.9	4.84 6.68
	二次空気注入装置	720°	600	40	24.39	20.84	10.8	9.43 20.4
1964年型	取付けなし	540°	600	50	29.14	17.60	10.4	8.63 5.48
	二次空気注入装置	540°	600	40	22.16	13.38	12.2	10.44 15.1

1961年型車では、この装置を付けると燃料の吸入速度が通常の場合にたいして28.9%減少し、供給燃料の燃焼効率が約30%向上することがみとめられる。すなわち、気化器を通らない外気が別の経路から供給されるために、シリンダーに吸入される混合気の気液率は通常の7.9から10.8へと理論比例に大きく移行する。このことは、燃料の完全燃焼成分であるCO₂の排気濃度が通常のほぼ2倍に増大し、不完全燃焼

成分のCO濃度は通常の場合にたいして69.5%ときわめて高い減少率を示す。このような傾向は、1964年型車の場合にも顕著にみとめられる。すなわち、二次空気注入装置を付けると通常の場合にたいして、燃料消費が24.0%減少し、排気中のCO濃度は72.4%の減少率を示す。また、CO₂濃度は32.6%増大し、シリンダー内での吸入気の燃焼状態が大幅に改善されていることを示す。1964年型車にくらべて1961年型車はエンジンの疲労度が大きく、吸入燃料の利用度も低く、CO濃度が大きくCO₂濃度が小さい。このために、二次空気注入装置の取付け効果は1961年型が著しく大きく、走行時の出力にたいする影響を考えなければ、この装置が中古車のアイドル時の燃料節約と、COの排出減少にきわめて有利である。

一般に、自動車から排出される汚染物の防止は、吸入気の燃焼効率の向上と未燃成分の除去に大別される。⁵⁶⁾ 本実験に使用した二次空気注入装置は前者に属し、同様の原理からすでに燃料遮断器(Fuel Shut off)、バキウム遮断器(Vacuum Breaker)、バキウム制御器(Vacuum Limiter)など多くの研究⁵⁷⁾ がなされている。燃料遮断器はアイドル時に真空度または電気的に作動するニードルバルブで燃料サーキットを遮断する。この方式による未燃成分の除去率は台上テストで90%、ロードテストでは50%であるが、ニードルバルブの円滑な制御がきわめて困難で、制御が適切でないとむしろ不利である。⁵⁷⁾ また、マニホールドバキウムが高いときの連続的燃焼を防ぐ方式にはバキウムの遮断器と制御器があり、遮断器は減速時に気化器以外から空気を注入してバキウム圧を0cmHgまで下げる。バキウム制御器によるバキウムの低下には、インテークマニホールドへ外気を注入するものと、気化器のスロットルを開けるものがあり、前者は本実験に使用した二次空気注入装置そのものである。これらの装置を付けた場合の未燃成分の減少率は68~84%で、⁵⁷⁾ 排気ガス防止に有利とみられる。しかし、これらの装置は、いずれもスロットルの急速な開閉に即応する制御メカニズムの完成が最大の問題で、この作動が適切でないと減速時に炭化水素の排出が1.3~3.5倍も増大するから、現在のところ実用性がないと指摘されている。⁵⁷⁾

本測定に用いた二次空気注入装置の制御メカニズムは弾性の異なる二種のスプリングを利用しており、エンジン状態の変動にたいする即応性が最大の問題点である。そこで、実験車のアイドル(0km/h)から急速発進を行ない、車速が40km/hに達するまでの所要時間と燃料消費量から検討した。その成績は表4-46に示す。表には通常の場合とトランスミッションの位置をも示す。実験車のアイドルアジャストメントスクリューの開度はいずれも最適(1961年型720°, 1964年型540°)とした。二次空気注入装置を付けた1961年型車の発進加速時間が通常の場合にくらべて4.8%長くなり、スロットルの急速な変化にたいして二次空気注入装置のスプリングの作動が即応できないために、エンジンの加速性に時間遅れを生じることがみとめられる。さらに、1964年型車はエンジンの疲労度が小さいから、発進加速時間は1961年型車よりも通常の場合で26.4%短い。1964年型車では二次空気注入装置を付けると加速所要時間は通常の場合よりも5.0%増大し、燃料消費量は12.6%減少する。

これらのことから、二次空気注入装置を付けた場合には、インテークマニホールドバキウムが最初のセット位置(40cmHg)より高いアイドル時や減速時に外気が供給されて気液率を高くするために、供給燃料の燃焼状態が大幅に改善され、未燃成分の排出防止にきわめて有効である。しかし、この装置のバキウム制御メカニズムはスプリングの弾性を利用しており、スロットルの急速な開閉による

エンジンの出力変化にたいする即応性がなく
発進加速時でも約5%の時間遅れを生じる。

それゆえ、短時間での加減速が連続的にくり返される実際の都市走行ではさらに大きな出力不足(出足不足)が生じ、実用上大きな問題点となる。そのうえ、スプリングの疲労による弾性変化から作動点の再調整時期など実用上問題点が多い。

表4-46 二次空気注入装置の取付けによる加速性能の変化

(0km/h → 40km/h)

実験車	条 件	燃料消費量 ml(平均)	所要時間 Sec(平均)	加速時のエンジン の回転数 rpm	加速時のバキ- ウムの圧力 cmHg	トランスミッション の位置
1961年型	取付けなし	36.7	7.68	4500	2.5	オニ速
	二次空気注入装置	34.0	8.05	4500	2.5	オニ速
1964年型	取付けなし	34.8	5.65	4500	2.5	オニ速
	二次空気注入装置	30.5	5.93	4500	2.5	オニ速

5-4 総 括

最近、比較的簡単に実施できる排気の防止装置として推奨されているものに二次空気注入装置がある。しかし、その取付け効果ならびに走行性能にたいする影響についての資料がないため、本節では実験車（プリンススカイライン、1500cc、1961年型、1964年型）に取付けて検討した。その結果を要約するとつぎのとおりである。

- 1 二次空気注入装置を付けると通常の場合にくらべて、アイドル時の燃料消費量が約24～29%節減され、排気中のCO濃度は約70～72%減少する。すなわち、供給燃料の燃焼状態が大巾に改善される。
- 2 実験車の走行停止から車速40km/hまでの急発進について測定したところ、二次空気注入装置を付けると通常の場合にくらべて所要時間が約5%増大し、燃料消費量が約7～13%減少した。
- 3 二次空気注入装置のバキューム制御メカニズムはスプリングの弾性を利用したもので、スロットルの急速な変化にたいする即応性が不十分で、実際の都市走行では出力不足（出足不足）が生じ、実用性に欠ける。

第6節 アイドル調整、点火改良装置、二次空気注入装置の比較

6-1 研究目的

本章のこれまでは、自動車排気による大気汚染の軽減対策として、もっとも実用的かつ効果的な方式を見出すために、現在推奨されているアイドル調整、点火改良装置ならびに二次空気注入装置による効果の検討結果を述べた。これらの方式はいずれも取扱いが比較的簡単で、エンジンの改造を必要とせず、コストが安価で、中古車にも適用できることから行政的に注目されているが、その効果、影響についての系統的研究が少ない。

そこで、本節ではこれまでの測定結果から、それぞれの実用的な利害損失を比較検討した。

6-2 アイドルアジャストメントスクリューの開度

気化器のアイドルアジャストメントスクリューの開度は、アイドル時および低速走行時の燃料消費量に直接関係し、排気中の未燃焼成分の濃度にも影響する。また、アイドル時の最適開度はエンジンの回転数、マニホールドバキュームとともに、個々のエンジンの定格時について指定されている。しかし、エンジンの疲労度が増すにつれて吸排気バルブ機構の疲労損耗などにより、アイドル回転維持のための燃料要求量が増大するために、スクリューの開度が大きくなる。アイドルアジャストメントスクリューの開度とエンジンの回転数の関係の例は図4-45に示す。図には国産車（セドリック、コロナ、パブリカ）について測定した結果を示し、それぞれに点火改良装置を付けた場合についても示す。エンジンの最高回転数を示すスクリューの開度は車種によって異なり、その開度より大きくても小さくても回転数は急速に低下する。点火改良装置を付けた場合には、回転数が最高を示すスクリューの開度が通常よりも90°～180°小さくなる。これまでの測定に使用したプリンス1961年型車では180°、1964年型車では90°小さくできた。また、図のコロナの場合には回転数の最高値が増大（20rpm）する。これらのことから、アイドル調整法でアイドルアジャストメントスクリューを最適開度にセットしても、点火改良装置を付けるとその最高開度がさらに小さくできることを示し、吸入燃料量をアイドル調整法よりも大きく節減できる。この原因は混合気の燃焼初期速度の増進による燃焼効率の向上と考えられる。一方、二次空気注入装置の場合には、アイドル調整で示される最良開度と変りがない。

6-3 アイドル時の排気成分の比較

アイドル調整法、点火改良装置、二次空気注入装置について、エンジン条件と排気成分の関係はすでに各節で述べた。それらのなかから、アイドル時の最良状態における成績を比較すると表4-47のとおりである。実験車はプリンススカイライン 1500cc、1961年型と、1964年型で、表にはアイドルアジャストメントスクリューの最適開度、燃料消費、気液率、排気中のCO、CO₂濃度をも示す。また、排気分析の例は図4-46および図4-47のクロマトグラムに示す。分析方法ならびに装置は第三章で述べたのと同様である。通常の場合にくらべて、点火改良装置を付けた場合の最適

開度は1961年型で180°、1964年型では90°小さい。二次空気注入装置の場合のスクリー開度はアイドル調整法と同じであるが、気化器を通らない外気をマニホールドに注入するために、吸入気的气液率も一と高く、希薄混合気調に移行することを示す。また、アイドル調整法にくらべて、燃料の消費量は約24~29%減少し、点火改良装置よりも約12~15%節減される。このことは、混合気の燃焼状態が大幅に改善されていることを示し、排気中のCO濃度はアイドル調整法の約28~31%に低下し、点火改良装置の値にたいしては約43~49%と半減することを示す。点火改良装置はアイドル調整法よりも最適開度が小さいために、燃料消費量が約14~17%少なく、排気中のCO濃度は約36~37%減少する。これらのことから、二次空気注入装置がアイドル時の排気ガス制御にも一と有利であるとみられるが、エンジンの出力性能にたいする影響から実用性を判定する必要がある。

6-4 加速性能にたいする影響の比較

アイドル時の燃料節減とCO排出の減少割合から、二次空気注入装置が一とすぐれた成績を示した。しかし、エンジン出力の変動に即応する点にアイドルをセットすることが実際の走行上も一と重要である。そこで、実験車の発進加速時(0km/hから40km/hへの加速)の成績を

比較すると表4-48のとおりである。二次空気注入装置は、アイドル調整法にくらべて所要燃料量が約7~12%節減できるが、加速所要時間が約4.8~50%長くなる。これは、二次空気注入装置のパキウム制御に使用されているスプリング作動の遅れが原因するもので、実際の都市走行では出足不良をもたらす。点火改良装置はアイドル調整法にくらべて消費燃料量が約31~36%節減され、二次空気注入装置よりも減少率が高い。これは点火改良装置を付けると加速所要時間が大幅に短縮されるためで、その短縮率はアイドル調整法にたいしては約10~20%となり、二次空気注入装置にたいしては約14~24%となる。

これらのことから、二次空気注入装置は加速時などエンジンの出力が変化する場合にはむしろ不利で、点火改良装置が排気制御と走行性能の点で一とすぐれており、ここで検討した制御方式のなかでも一と有効、かつ実用的と考えられる。しかし、点火改良装置は効率を最大とするにはエンジンに付けてアイドルアジャストメントスクリーを最適開度にセットする必要がある。この開度のセット操作は通常のエンジン整備基準の方式で、アイドル調整法と同様で、この両者はむしろ一体と考えるのが一と妥当である。すなわち、点火改良装置を付けてアイドル調整を施すことが、現在の排気による

図4-45 アイドルアジャストメントスクリーの開度と回転数

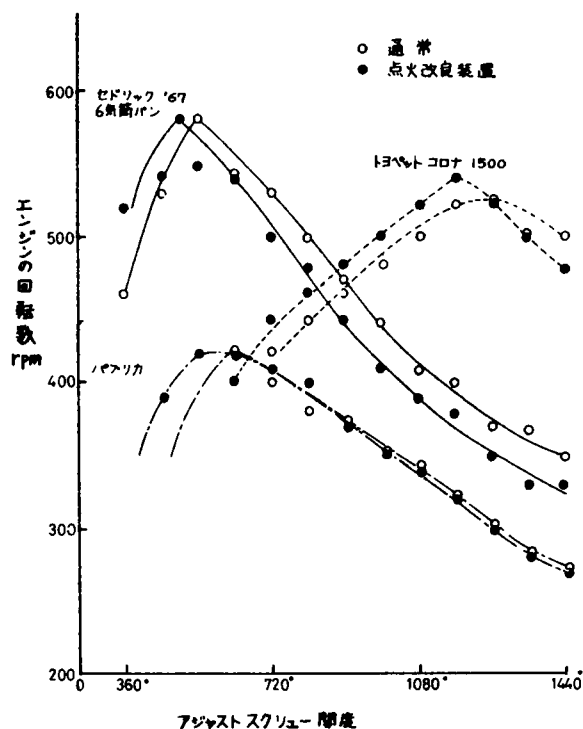


表4-47 アイドル時の制御方式による差異

1961年型車

項目 方式	アイドル調整 スクリー開度	エンジン 回転数 rpm	マニホールド パキウム cmHg	燃料消費 ml/min	1/psH	気液率	排気成分 CO%, CO ₂ %
アイドル調整	720°	600	52	34.28	292.9	7.9	6.68 4.84
二次空気注入装置	720°	600	40	24.39	208.4	10.8	2.04 9.43
点火改良装置	540°	600	52	28.58	244.2	8.4	4.20 9.52

1964年型車

項目 方式	アイドル調整 スクリー開度	エンジン 回転数 rpm	マニホールド パキウム cmHg	燃料消費 ml/min	1/psH	気液率	排気成分 CO%, CO ₂ %
アイドル調整	540°	600	50	29.14	176.0	10.4	5.48 8.63
二次空気注入装置	540°	600	40	22.16	133.8	12.2	1.51 10.44
点火改良装置	450°	600	50	25.07	151.4	11.2	3.53 10.92

図4-46 実験車

プリンススカイライン

1,500cc

1961年型 (アイドル, 600rpm)

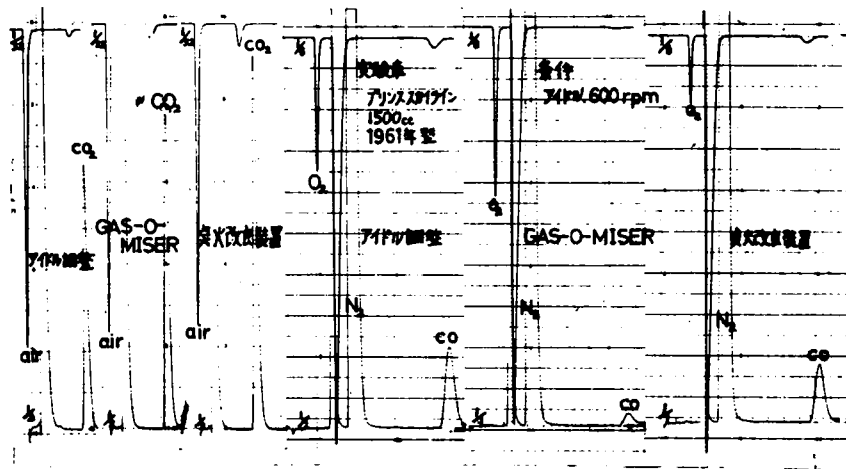


図4-47 実験車

プリンススカイライン

1,500cc

1964年型 アイドル 600rpm

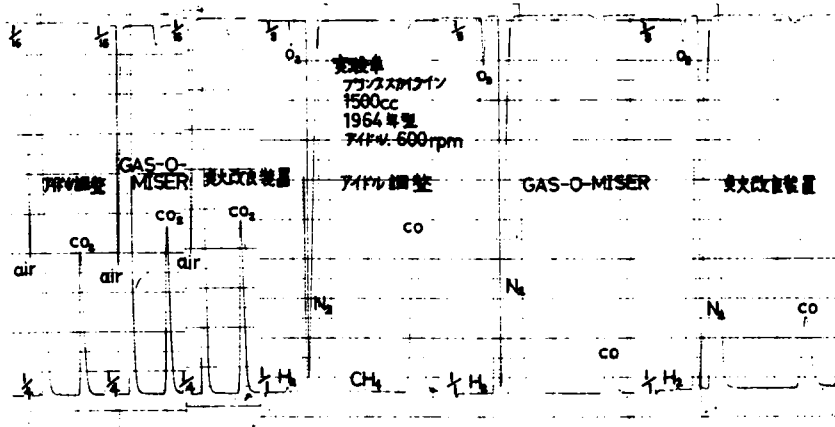


表4-48 制御方式による加速性能の比較

(0 km/h → 40 km/h)

1961年型車	燃料消費量 ml	所要時間 sec	最高時にあつる エンジンの回転数 rpm	最高時にあつる インテークマニホールド の圧力 cmHg
アイドル調整	36.7	7.68	4500	2.5
二次空気注入装置	34.0	8.05	4500	2.5
点火改良装置	25.3	6.89	4500	2.5

1964年型車

アイドル調整	34.8	5.65	4500	2.5
二次空気注入装置	30.5	5.93	4500	2.5
点火改良装置	22.1	4.51	4500	2.5

大気汚染の軽減上もっとも有効で、自動車の走行性能の向上をもたらし、もっとも実用的な制御方式とみとめられる。しかし、両方式の併用によっても、排気にはまだかなり多くの未燃焼成分が含まれており、自動車排気による大気汚染の完全な制御のためにさらに有力な装置の開発、ならびに都市計画的対策の推進がのぞまれる。

6-5 総括

中古車を含む自動車の排気ガス対策において取扱いが簡単で、コストも比較的安価であることから、行政的に注目されているアイドル調整法、点火改良

装置、二次空気注入法の防止効果、ならびに走行性能にたいする影響を実用的見地から比較検討した。その結果を要約するとつぎのとおりである。

1 アイドルアジャストメントスクリューの最適開度はエンジン機種によって異なり、エンジンの疲労につれて開度が大きくなる。アイドル調整で最適開度にセットしたものに点火改良装置を付けると開度を $90\sim 180^\circ$ さらに小さく締込むことができ、それだけ燃料の節減となる。二次空気注入装置を付けた場合の最適開度はアイドル調整と同じである。

2 アイドル調整法にくらべると、二次空気注入装置はアイドル時(600rpm)の燃料消費が約24~29%節減され、CO濃度は約69~72%減少する。同じく、点火改良装置は燃料消費が約14~17%、CO濃度が約36~37%低下する。

3 発進加速(0km/hから40km/hへの加速)において、二次空気注入装置はアイドル調整法よりも燃料消費が約7~12%節減できるが、加速所要時間が約5%増大し、その原因はこの装置のバキューム制御機構にあるため、実際の都市走行には不利を生じる。

4 点火改良装置による発進加速時(0km/hから40km/hへの加速)は、アイドル調整法にくらべて燃料消費が約31~36%減少し、加速所要時間も約10~20%と大巾に短縮され、実用上も一とも有利な装置とみとめられた。しかし、この装置の場合には取付け効果を最大に発揮させるために、アイドル調整法を併用してもっとも最適なアイドルアジャストメントスクリューの開度にセットすることが肝要である。

第7節 結 論

都市の大気汚染に自動車排気が大きな割合を占めることから防止策の推進が叫ばれ、米国およびわが国では排気規制が実施された。

米国では排気処理装置に関する研究も多く、試験基準から認可されているものもあるが、それらは実用上の問題点が多く、より有効かつ安価な装置の開発がのぞまれている。

本章では、吸入気の燃焼効率の向上を目的として開発された点火改良装置の効果を実用車で検討した。この装置は混合気の点火時に強力な点火エネルギーを与えて火花放電特性を改善するものである。さらに、最近行政的見地から排気対策に有効として推奨されているアイドル調整法および二次空気注入装置についても検討した。本章における成果を要約するとつぎのとおりである。

第1節では排気の制御に関する米国の研究を概察し、カリフォルニアおよび全米での排気規制の経過を述べ、わが国およびヨーロッパ諸国の状況についても述べた。さらに、主要な制御装置の利害を論じ、現在、米国で認可されているものの性能をも示した。

第2節では、まず点火改良装置による放電波形の変化と混合気の燃焼特性の関係について考察し、この装置により燃焼初期の冷期短縮と火焰伝播速度の増進効果を推察した。ついで、運転条件を系統的に規制したロードテストで、この装置の効果を測定した。すなわちアイドル時には、燃料消費が約20%節減され、排気のCOは濃度が約48%、排出量が約45%減少する。炭化水素も濃度が約48%、排出量が約44%減少し、供給燃料の燃焼状態が大巾に向上する。定速時(10~80km/h)には、燃料消費が約21%節減され、燃料あたりの距離が約30%増大し、燃料の利用効率の顕著な増進を示す。排気のCO濃度は約39%、排出量は約29%低下し、炭化水素は濃度で約51%、排出量で約40%の減少をもたらす。炭化水素の構成は通常の場合よりも、C₁~C₄パラフィンとジオレフィンの割合が減少し、燃料の解裂成分が燃焼に利用されることを示す。加速時(0~50km/hから10~60km/h)には、加速所要時間が約20%短縮され、エンジンの加速性能の向上を示した。燃料消費、COと炭化水素排出は約16~17%と顕著に減少する。減速時(10~60km/hから0~40km/h)では、排気中の未燃焼成分が大巾に減少し、COおよび炭化水素の排出は約20~30%低下し、これらはいずれも点火改良装置による燃焼状態の改善効果にもとづく。ついで、同系車種を用い既走行距離数と点火改良装置の効果の関係を検討し、燃料消費、排気のCOおよび炭化水素濃度の減少率はいずれも走行距離数が増すにつれて増大し、新車の減少率は約8~25%で、約17万km車ではほぼ半減し、エンジンの疲労度の大きい中古車の排気対策にこの装置が有利であることを示した。さらに、米国およびわが国の試験法(ジャ

ーシーダイナモテスト)での測定から、新車の排気濃度(CO 3.05% n-hexane 591 ppm)が、この装置を付けるとCO 1.83~2.30%, n-hexane 360~468 ppmに減少し、米国およびわが国の規制値以下に制御できる。これらのことから、自動車排気による大気汚染の軽減に点火改良装置が有効で、自動車の走行性能にたいする阻害影響も全くなく、きわめて実用的、かつ有効な装置であることをみとめた。

第3節では、点火改良装置の効力の耐久性を増大させるために、装置の内部規格による影響を検討した。すなわち、耐久性にもっとも大きく関係するカーボン電極のかわりに金属電極を用いた場合の効果に顕著な差異のないことを明らかにし、耐久性向上の方向を示した。

第4節では、アイドル時の燃料吸入を締めて未燃焼成分の排出減少を計るアイドル調整法について検討した。気化器のアイドルアジャストメントスクリューの開度が小さくなると、アイドル時の燃料消費およびCOの排出が大巾に減少し、この方式が排気制御に有利とみられる。しかし、自動車の発進加速時の出力性能はスクリューの最適開度以外では急激に低下を示す。この最適開度はエンジンの機種、保守程度で大きく異なり、エンジンの疲労度とともに増大する。これらのことからアイドル調整法の基本が異常開度の適正化にあり、通常のエンジン整備基準と同じであることを明らかにした。

第5節では、二次空気注入装置による効果について検討し、アイドル時の燃料消費およびCO排出が著しく減少し、その減少率はアイドル調整法および点火改良装置を上回る。しかし、この装置の場合は、エンジンの出力変化に制御メカニズムが即応しないために、発進加速性能がアイドル調整法の場合よりも約5%低下し、実際の都市走行には出足不良などをおこし、実用性が乏しいことを明らかにした。

第6節では、中古車を含む排気対策における実用性の点から、本章の各節で効果を測定したアイドル調整法、点火改良装置、二次空気注入装置を比較検討した。すなわち、アイドルアジャストメントスクリューの最適開度はアイドル調整法と二次空気注入装置は同じで、点火改良装置はこれよりも90~180°小さくできる。二次空気注入装置はアイドル時の燃料消費およびCO排出がもっとも小さく、点火改良装置がこれにつぐ。エンジンの発進加速性能については、二次空気注入装置がアイドル調整法よりも約5%の出力低下を示し、点火改良装置は約10~20%の出力向上を示す。点火改良装置は加速時の燃料消費がもっとも小さく、実用性ももっとも高いことを明らかにした。さらに、点火改良装置は最適開度へのセットが肝要で、その実施法はアイドル調整法と同じであることから、この両者の併用が都市の大気汚染軽減と走行性能の確保にもっとも有効であることを示した。

しかし、これらの方式の場合でも、なおかなりの未燃焼成分が排出され、汚染の完全防止のためにさらに有効な装置の開発、ならびに都市計画的対策がのぞまれる。

参 考 文 献

- 1) Hofreuter, D.; The Automotive Exhaust Problem, Arch, Environ. Health, 2, 559-563. 1961.
- 2) Goldsmith, J.R.; Some Implications of Ambient Air Quality Standards, Arch Environ. Health. 4. 151-167. 1962.
- 3) Chipman, R.L.; An Inspection Method for Automobile Hydrocarbon Emission, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(6), 463-464, 1960.
- 4) Department of Health, Education and Welfare; Federal Register, vol 31, No 61, part II, p5170-5178, Washington. D.C. March. 30, 1966.
- 5) 小早川隆; 自動車用エンジンの燃焼と排気(Ⅱ), 内燃機関, 5(53). 57-62. 1966
- 6) 景山久; 自動車排気ガスによる大気汚染防止に関する法規制, 公害と対策. 2(2). 1-7. 1966
- 7) Rose, H.A.; Automotive Exhaust Emissions, Stern. A.C; Air Pollution II pp586, 40-80, Academic Press, New York. 1962.
- 8) Maga, J.A., Goldsmith, J.R.; Standards for Air Quality in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(6), 453-455, 1960
- 9) Caplan, J.D.; Smog Chemistry Points the Way to Rational Vehicle Emission Control. SAE paper, 650641, 197-208. 1965
- 10) Maga, J.A., Wong-Woo. H., Mason. M.G.; Motor Vehicle Pollution in California. J. Air Poll. Cont. Assoc. 17(7), 435-438. 1967
- 11) Jansen, D.; Status Report on Cost Factors in Exhaust Control. J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(10). 427-429, 1964
- 12) Florida Engineering and Industrial Experiment Station and Florida State Board of Health; Atmospheric Pollution, Engineering Progress at the Florida Bulletin No, 83. p59 University of Florida, Gainesville, 1956
- 13) Graber, R.C.; Atmospheric Pollution the Problem-An Over All View, Arch. Environ. Health, 1, 68-74, 1960
- 14) Haagen-Smit, A.J.; Chemistry and Physiology of Los Angeles Smog. Ind. Engi. Chem., 44(6) 1342-1347 1952
- 15) Blacet, F.E.; Photochemistry in the Lower Atmosphere, Ind, Engi, Chem., 44(6), 1339-1342, 1952
- 16) Faith, W.L.; Automotive Exhaust Control Problems, Arch. Environ. Health, 2, 564-667, 1961
- 17) Chass, R.L, Tow. P.S., Lunehe. R.G., Shaffer. N.R.; Total Air Pollution Emission in Los Angeles County. J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(5), 351-366, 1960
- 18) Ridgway, S.L., Lair. J.C.; Automotive Air Pollution, a System Approach, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(4), 336-340, 1960
- 19) Faith, W., Goodwin. J.T.; Automobile Exhaust and Smog Formation, J. Air Poll. Cont. Assoc., 7(1). 9-12. 1957

- 20) Griswold, S.S.; Technical Progress Report. 1. Control of Stationary Sources, p179. Air Pollution Control District, County of Los Angeles, 1960
- 21) Dickinson, J.E.; Technical Progress Report, II, Air Quality of Los Angeles County, P290, Air Pollution Control District, County of Los Angeles, 1961
- 22) Wayne, L.C.; Technical Progress Report, III, The Chemistry of Urban Atmospheres, P208, Air Pollution Control District, County of Los Angeles, 1962.
- 23) Department of Public Health, State of California; Standards for Ambient Air Quality and Motor Vehicle Exhaust, Pl1 adopted by the California State Board of Public Health on Friday, December 4, 1959
- 24) Haga, J.A., Hass, G.C.; The Development of Motor Vehicle Exhaust Emission, Standards in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(5), 393-396. 1960
- 25) Teague, D.H.; Los Angeles Traffic Pattern Survey, SAE. National West Coast Meeting NO 171, 17-38, 1957
- 26) Clarkson, D., Middleton, J.T.; The California Control Program for Motor Vehicle Created Air Pollution, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(1), 22-28, 1962
- 27) Middleton, J.T., Haagen-Smit, A.J.; The Occurrence, Distribution, and Significance of Photochemical Air Pollution in the United States, Canada, and Mexico, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(3), 129-134, 1961
- 28) Atkisson, A.A.Jr.; National Motor Vehicle Contaminant Control Requirements, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(5), 234-243, 1962.
- 29) Hass, G.C., Brubacher, M.L.; A Test Procedure for Motor Vehicle Exhaust Emissions, J. Air Poll. Cont. Assoc. 12(11) 505-509. 1962
- 30) Schweizer, P.H.; 自動車の大気汚染に対する米国の立法処置, 内燃機関, 4(36). 62-64. 1965
- 31) Jensen, D.A., Grant, E.P.; Status of Control of Motor Vehicle Emission in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(12), 483-486. 1964
- 32) Haga, J.A., Kinoshian, J.R.; Motor Vehicle Emission Standards Present and Future, SAE, 660104, Pl10, Automotive Engineering Congress, Detroit, Mich., Jan., 1966
- 33) California State Department of Public Health; California Standards for Ambient Air Quality and for Motor Vehicle Emissions, Pl4, Department of Public Health, State of California, Jan., 1966
- 34) State of California, Motor Vehicle Pollution Control Board; California Test Procedure and Criteria for Motor Vehicle Exhaust Emission Control, P95, Motor Vehicle Pollution Control Board, Los Angeles, California Nov. 19, 1966.
- 35) State of California, Motor Vehicle Pollution Control Board; California Test Procedure and Criteria for Motor Vehicle Crankcase Emission Control. P33, Motor Vehicle Pollution Control Board, Los Angeles.

California, Apr. 1.1966

- 36) State of California, Motor Vehicle Pollution Control Board; Bench Flow Testing of Crankcase Emission Control Devices, p3, Motor Vehicle Pollution Control Board, Los Angeles, California, Aug. 23, 1966.
- 37) State of California, Motor Vehicle Pollution Control Board; Back-fire Test for Crankcase Emission Control Devices, p4, Motor Vehicle Pollution Control Board, Los Angeles, California, Aug. 24, 1966.
- 38) Rihm, A.Jr.,; New York Stat's Classifications Ambient Air Quality Objectvies System, J.Air Poll.Cont. Assoc., 15(11), 519-522.1965
- 39) U.S.Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service; National Conference on Air Pollution, Dec.10, 1962., J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(2). 53-63, 1963
- 40) Department of Health, Education and Welfare; Control of Air Pollution from New Motor Vehicles and New Motor Vehicle Engines, Federal Register, Vol.31, NO.61 part II, p5170-5178. Washington, D.C., Wednesday, Mar. 30.1966
- 41) 公害と防災編集委員会; 大気汚染Ⅱ. P 288. 白亜書房, 東京, 1967
- 42) 通商産業研究社; 日本の自動車工業, P 861, 通商産業研究社, 東京, 1967
- 43) 橋本道夫; 自動車排気ガスによる大気汚染問題, 内燃機関, 6(64). 17-25. 1967
- 44) 川田正秋; 環境衛生からみた排気問題, 内燃機関 2(11) 31-34. 1963
- 45) 川田正秋; 自動車排気ガスの除害と今後の課題, 公害と対策, 3(1). 25-26. 1967
- 46) 橋爪信彦, 辻村 司; ジーゼル機関の排気濃度, 内燃機関, 4(33). 29-34. 1965
- 47) 金田幸二郎, 堀込徳年; 排気ガス規制について, 内燃機関・6(65). 19-25. 1967
- 48) 日本工業規格 JIS・D・1030-1967
- 49) 副島海夫, 吉田耕一; 自動車排気ガスの現状とその減少対策, 公害と対策・2(2). 9-16. 1966
- 50) 北川徹三; 自動車排気ガスによる大気汚染の防止対策 公害と対策. 2(11). 1-9 1966
- 51) Reed, L.E. Barrett. C.F; Air Pollution Fromaldehyde Traffic Measurements in Archway road. London, Int.J.Air Wat. Poll.,9.357-365,1965
- 52) 清浦雷作; 世界における自動車排気ガス対策の現状, 公害と対策 3(6). 1-8. 1968
- 53) 山本峰雄, 近藤政市, 平尾収, 亘 厚; 自動車ハンドブック, P 873 朝倉, 東京, 1966
- 54) 小早川隆; 自動車エンジンの燃焼と排気(V), 内燃機関. 6(56). 87-97. 1967
- 55) 小早川隆; 排気規制とエンジン各部の改善, 内燃機関. 6(65). 33-40. 1967
- 56) Sweeny, H.P.; Exhaust Control Device, J.Air Poll. Cont. Assoc., 15(1) 13-18, 1965
- 57) Linville, W.A., Holmes, R.G., Kanfer, C.V.; Evaluation of Methods for Controlling Vehicular Exhaust. J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(1) 21-28. 1960
- 58) Chipman. J.C., Linville, W.A., Parmelee, W. H., Evaluation of The Performance of A Clayton Afterburner Designed for and Installed on A Gasoline Motor Coach, Automotive Combustion Laboratory Report p49 Public Information and Education Division Air Pollution Control District, Los Angeles, California, 1958
- 59) Chipman, J.C. ; Evaluation of A Ford Motor Company's Catalytic

Converter for the Oxidation of Exhaust Hydrocarbons, 52nd Annual Meeting, Air Pollution Control Association, P30. Los Angeles, California, June 1959.

- 60) Hartley, F.L., Moore, C.C., Gregory, J.E.; The Smogless Automobile, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(12), 143-146, 1960.
- 61) Stein, K.C., Feeman, J.J., Thompson, G.P., Shultz, J.F., Hofer, L.J.E., Anderson, R.B.; The Oxidation of Hydrocarbons on Simple Oxide Catalysts, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(4), 275-281, 1960
- 62) Bishop, C.A., Campbell, W.W., Hunter, D.L., Lightner, M.W.; Successful Cleaning of Open-Hearth Exhaust Gas with a High-Energy Venturi Scrubber, J. Air Cont. Assoc., 11(2), 83-86, 1961
- 63) Worsham, C.H., Long, R.B., Longwell, J.P.; Noncatalytic Auto Exhaust Combustor, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(3), 135-140, 1961
- 64) Innes, W.B., Duffy, R.; Exhaust Gas Oxidation on Vanadia-Alumina Catalysts, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(8), 369-373, 1961
- 65) Richards, K.M.; Automobile Exhaust Control Devices, Arch. Environ. Health, 2, 568-570, 1960
- 66) Kopa, R.D., Jewell, R.G., Spangler, R.V.; Effect of Exhaust Gas Recirculation on Automotive Ring Wear, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(5), 246-255, 1962
- 67) Ridgway, S.L., Lair, J.C.; The Design and Performance of a Bootstrapping Direct Flame Afterburner, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(7), 340-347, 1962
- 68) Faith, W.L.; Automobile Exhaust Control Devices, J. Air, Poll. Cont. Assoc., 13(1), 33-35, 1963
- 69) Middleton, J.T.; Criteria for Certification of Motor Vehicle Pollution Control Devices in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(2), 78-80, 1963
- 70) Stern, A.C.; Prospects for Exhaust Control by Engine Modification, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(2), 91-93, 1963
- 71) Jensen, D.A.; Crankcase Emission Control Devices for Typical Gasoline Engine, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(4), 173-174, 1963
- 72) London, A.L.; Vehicle Smog Emissions, Arch. Environ. Health, 6, 672-677, 1963.
- 73) 日暮竜夫, 内燃機関排気ガス触媒浄化装置, 内燃機関 2(11), 39-45, 1963
- 74) Feenan, J.J., Anderson, R.B., Swan, H.W., Hofer, L.J.E.; Chromium Catalysts for Oxidizing Automotive Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(4), 113-117, 1964
- 75) Jensen, D.A.; Auto Smog Rollback under Way in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(6), 241-242, 1964
- 76) Baker, R.A., Doerr, R.C.; Catalytic Reduction of Nitrogen Oxides in Automobile Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(10), 409-413, 1964.
- 77) Jensen, D.A.; Status Report on Cost Factors in Exhaust Control, J.

- Air Poll. Cont. Assoc., 14(10), 427-429.1964
- 78) Jensen, D.A., Grant, E.P.; Status of Control of Motor Vehicle Emission in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(12) 483-486 1964
 - 79) Raymond, L.; Particulate or Photochemical its still Smog, SAE, Journal, 72(3), 48-54. 1964.
 - 80) Stahman, R.C.; Emissions from Carbureted and Timed Port Fuel Injected Engine, A.P.C.A. Annual Meeting, 64-74, P30 Huston. Texas. June. 1964
 - 81) Freeman, J.H.Jr., Stahman, R.C.; Vehicle Performance and Exhaust Emission. Carburetion versus Timed Fuel Injection, SAE 650863 National Fuel and Lubricants Meeting. p28, Tulsa, Okla, November. 1965
 - 82) Stahman, R.C., Rose, A.H.; Emission from Carbureted and Timed Port Fuel Injection System, J. Air Poll. Cont. Assoc., 16(1), 15-18 1966
 - 83) Haga, J.A.; Considerations in Setting Standards for Oxides of Nitrogen, J. Air Poll. Cont. Assoc., 15(12), 561-564, 1965
 - 84) Brownson, D.A., Stebar, R.F.; Factor Influencing the Effectiveness of Air Injection in Reducing Exhaust Emissions, SAE 650526, 912-929. 1965
 - 85) Cantwell, E.N., Pahnke, A.J.; Design Factors Affecting the Performance of Exhaust Manifold Reactors, SAE 650527, 930-954. 1965
 - 86) Hurn, R.W., Fleming, R.D.; Lean Mixture Operation, A New Factor in Exhaust Composition, SAE paper 650 640, p13. SAE International West Coast Meeting, Vancouver, B.C. August, 1965
 - 87) Caplan, J.D.; Spotting The Chemical Culprits in Smog Formation, SAE, Journal. 73, 62-65. 1965
 - 88) 栗原三男; 触媒式排気ガス浄化マフラ, 内燃機関, 4(33), 59-61, 1965
 - 89) Freeman, J.H.Jr.; Fuel Injection Increases Economy Reduces Exhaust Emission, SAE Journal, 74.70-75.1966
 - 90) Kopa. R.D.; Control of Automotive Exhaust Emission by Modification of the Carburetion System, SAE 660114. p15. SAE. Automotive Engineering Congress. Detroit, Mich., January, 1966
 - 91) Kopa, R.D.; Reduction of Nitrogen Oxides and Other Pollutants in the Exhaust of Automotive Engine, p8, Conference on Engineering Solutions to Air Resource Problems, Dept. Engi., University of California, Los Angeles, September, 1966
 - 92) 小早川隆; 自動車用エンジンの燃焼と排気(Ⅳ), 内燃機関, 6(55), 73-82 1967
 - 93) 湯沢宏; 排気規制と気化器, 内燃機関, 6(65), 26-32, 1967
 - 94) 北川徹三; 自動車排気ガスによる大気汚染の防止, 大気汚染研究, 1(2), 11-17, 1966
 - 95) 塚川知; 67自動車新型エンジン, 内燃機関, 5(54), 25-35, 1967
 - 96) 東京都首都整備局都市公害部; 自動車排気ガス制御装置の実車テスト結果について, 公害と対策, 3(10), 22-23, 1967

- 97) Coté, W. A. ; The Performance of Positive Crankcase Ventilation Systems on Automobiles in Cincinnati, Ohio, Report NO.2 J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(3) 139-141, 1967
- 98) Robison, J. A., Drehoz W. H. ; The Influence of Improved Mixture Quality on Engine Exhaust Emissions and Performance, J. Air Poll Cont. Assoc., 17(7), 446-453. 1967
- 99) 内燃機関編集部 ; カルフォルニアにおける1968年車の排気試験結果, 内燃機関, 6(64), 37-40, 1967
- 100) 中島桂太郎, 戸田忠秀 ; トヨタ対米輸出車用排気ガス浄化装置, 内燃機関, 7(68), 11-19, 1968
- 101) 戸田剛夫 ; 日産対米輸出車用排気ガス制御装置の開発, 内燃機関, 7(68), 19-24, 1968
- 102) 福岡宏明 ; いすゞ対米輸出車用排気ガス制御装置の開発, 内燃機関, 7(68), 25-29, 1968
- 103) 黒田裕 ; ガソリン機関の排気浄化, 内燃機関, 6(64), 26-30, 1967
- 104) 庄司光, 山本剛夫, 西田耕之助, 石川義紀, 高田進, 井上香織 ; 自動車排気による大気汚染の研究, 点火改良装置による排気組成の変化, 日本衛生学雑誌, 22(1), 152, 1967
- 105) 庄司光, 山本剛夫, 西田耕之助, 石川義紀, 井上香織, 高田進 ; 自動車排気による大気汚染の研究, 点火改良装置による排気組成の変化, 土木学会, 第22回年次学術講演会, 概要集, 168(1~2), 5月, 1967
- 106) 庄司光, 山本剛夫, 西田耕之助, 井上香織, 高田進 ; 自動車排気による大気汚染の研究, 点火改良装置による排気組成の変化, 昭和41年度土木学会関西支部年次学術講演会 概要, 145-146, 11月, 1966
- 107) 菊地五郎 ; ガソリン自動車工学, P275, オーム社, 東京, 1951
- 108) 神蔵信雄 ; 高速ガソリンエンジン, P564, 丸善, 東京, 1960
- 109) 曾田範宗, 熊谷清一郎 ; 内燃機関ハンドブック, P746, 養賢堂, 東京, 1963
- 110) Hodgetts, D. ; Advances in Automobile Engineering, part 4, p200, Pergamon Press, Oxford, 1966
- 111) Lichty, L. C. ; Combustion Engine Process, p654, McGraw-Hill, New York, 1967
- 112) 小川勝 ; 燃焼, P180, 海文堂, 東京, 1966
- 113) 長尾不二夫 ; 内燃機関, 上, P491, 養賢堂, 東京, 1967
- 114) 熊谷清一郎, 酒井忠美 ; 内燃機関測定法, P236, 養賢堂, 東京, 1967
- 115) 電気学会 ; 放電ハンドブック, P494, オーム社, 東京, 1964
- 116) 稲葉博 ; 点火改良装置 New Thunder Bolt による点火プラグ放電特性について, P10, 東京大学生技術研究所, 1967
- 117) プリンス自動車工業 ; プリンス自動車整備法, G1 G2 エンジン編, P326, プリンス自動車工業, 東京, 1963
- 118) 横山武人, 玉田圭一 ; 内燃機関, P209, 槇書店, 東京, 1960
- 119) 自動車技術会 ; 自動車工学ハンドブック, P926, 自動車技術会, 東京, 1967
- 120) Hurn, C. W. ; Comprehensive Analysis of Automobile Exhaust, Arch. Environ. Health, 5, 592-596, 1962.
- 121) 宮本晃男 ; ガソリン自動車整備解説, P394, 柴田書店, 東京, 1967
- 122) Heaton, W. B., Wentworth, J. T. ; Exhaust Gas Analysis by Gas Chromatography, Combined with Infrared Detection, Anal. Chem., 31(3), 349-357, 1959
- 123) Feinland, R., Andreacch, A. J., Cotrupe D. P. ; Automotive Exhaust Gas Analysis by Gas Liquid Chromatography Using Flame Ionization Detection, Anal. Chem. 33(8), 991-994, 1961.
- 124) Rose, A. H. ; Automotive Exhaust Emissions, Cited from Stern, A. C. ; Air Pollution II, P580, 40-80, Academic Press, New York, 1962

- 125) Faith, W.L., 内藤幸徳訳; 大気汚染と公害処理, P222, 技報堂, 東京, 1967
- 126) 外川和夫; サンダーボルトの性能劣化とトラブル, 自動車工学, 16(11), 194-195, 1967
- 127) 小早川隆; ガソリンエンジン, 内燃機関, 6(58), 25-30, 1967
- 128) 自動車工学編集部; オートスモコン, 自動車工学, 16(11), 44-47, 1967
- 129) 吉田隆; スローの問題点, 自動車工学, 16(11), 48-56, 1967
- 130) Keulemans, A.I.M.; Gas Chromatography, P234, Reinhold Pub. Co., New York, 1959
- 131) 大阪陸運局; 検査主任者整備管理者等研修資料(追録), 23-26, 大阪府企画部企画調整課, 昭43
- 132) 横山巖, 酸谷規由, 深谷勝久, 中村陽光, 岡本内匠, 金持民明, 向田尊司; 自動車排気ガスの除外について, 大気汚染研究, 2(1), 101, 1967
- 133) 庄司光, 西田耕之助, 石川義紀・小松正幹, 伝田剛, 高田進; 自動車排気による大気汚染の研究, アイドル調整と点火改良装置の取付け効果, 日本衛生学雑誌, 23(1), 190, 1968

第 五 章

都市における自動車の走行パターンに関する研究

緒 言

自動車排気が都市大気汚染に重要な地位を占める¹⁾と米国²⁾ならびにわが国の実態調査³⁾から指摘され、排気の排出規制が実施された。⁴⁾ 米国では、都市面積あたりの排出量から大気汚染にたいする排気の貢献度を推測し、排出規制の基準とし、排気は走行調査にもとづくテストサイクルで測定すると定められた。⁵⁾ その後の走行状態の変化から、測定基準の改善が叫ばれている。⁶⁾

一方、わが国の排気規制実施には、自動車の対米輸出で受ける米国の規制がもっとも大きな推進力となり、テストサイクルには運輸省船舶技術研究所案⁷⁾(4モードサイクル)が採用された⁸⁾が、これについての基礎資料は明らかでない。本章では、わが国の都市走行を代表するテストサイクルの合理的な選定法を導くために走行実験とその解析を行なった。

第 1 節 研 究 目 的

自動車の汚染物排出は運転条件で大きく異なり、大気汚染にたいする排気の役割の適切な評価が有効な排出規制や将来予測など都市計画上の基礎資料としてはなほ重要である。このために、都市での走行状態を把握するとともに、もっとも代表的な都市走行様式の合理的な選定が大きな影響を与える。しかし、わが国における従来の都市交通の問題は、道路工学、運輸工学、交通工学的見地にもとづく研究がほとんどで、自動車の運転条件の変化に着目した大気汚染評価の観点に立つ調査研究は全くなく、都市走行の実状に即した適切、かつ合理的な走行パターンの研究がのぞまれている。⁹⁾

本章では、自動車の市街地走行におけるもっとも合理的、かつ平均的走行パターンを導くことを目的として、実用車による走行実験、ならびに統計的手法による解析を行なった。

すなわち、京都市内の交通流特性から統計的に選定した実験路線の走行実験から平均走行サイクルを誘導し、¹⁰⁾ 京都市の外周部ならびに大阪市の走行成績についても検討した。¹⁰⁾ さらに、導かれた平均的走行サイクルをテストサイクルとしたシャーシダイナモテストによる測定から、米国の7モードサイクルおよびわが国の4モードサイクルによる評価を比較検討した。^{11) 12)}

第 2 節 自動車の走行サイクルに関する従来の研究

光化学スモッグ¹³⁾や排気成分の研究¹⁴⁾も多いが、排気の汚染に占める割合から防止策を推進するために、地域内の全自動車排出量を正確に算定する必要が生じた。しかし、自動車排気は運転条件、車種などで大きく異なり¹⁵⁾ 自動車の利用度なども一律でない。そこで、代表的な自動車の走行様式、平均走行回数、走行距離数、平均の汚染物排出の仮定から汚染評価がなされ、都市域における運転様式の研究が実施された。すなわち、Larsonら¹⁶⁾は、ロスアンゼルスを代表する長さ39マイルの実験路線で、運転条件の時間比を測定した。路線はハイウェイと住宅路からなり、運転条件を定速(トップギアで25~35mile/h, マニホールドバキューム, 17 inHg), 減速(スロットルを閉じ, マニホールドバキュームが20~24 inHg), 加速(マニホールドバキューム約2~15 inHg), アイドル(マニホールドバキューム約18 inHg, 停止)に分類して表5-1の結果を述べた。同時に、オリフィスマーターで排気ガス量をも測定した。実験車

表 5-1
ロスアンゼルスにおける自動車交通の平均特性¹⁶⁾

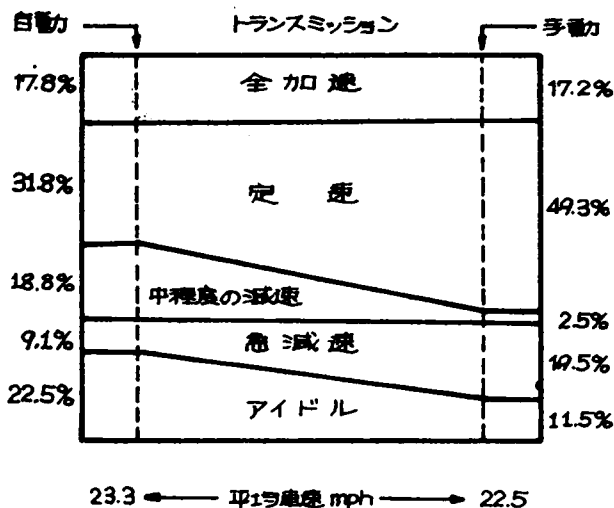
運転サイクル	運転時間比 (%)	排気量比	ガソリン消費の比
アイドル	18	1	1
加 速	18	4.5	7
定 速	46	3	4
減 速	18	2	2

アイドル時の排気量 14 ft³ / 分
アイドル時のガソリン消費量 0.4 ガロン / 時

はフォード1951年型(6気筒車、アイドル回転数450rpm)で、加速および減速条件の経過と排気流速の関係を図5-1のように示した。加速は0~12mphを第一速、12~22mphを第二速、22~35mphを第三速(トップギヤー)とした。さらに、典型的排気組成からロスアンゼルスでは850トン/日の炭化水素が自動車から排出されていると述べた。

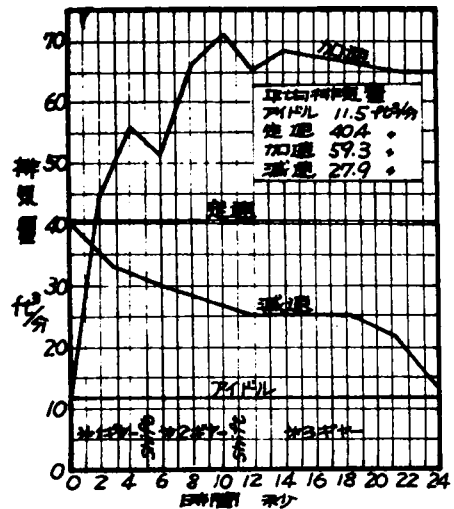
Grunder¹⁷⁾もロスアンゼルスハイウェイについて同様の走行時間比を述べた。Elliott¹⁸⁾は、排気が実際に大気汚染に及ぼす影響は走行様式の規定方法で大きく異なると述べた。Teague¹⁹⁾は、1956~1957年にロスアンゼルスで自動車工業協会(A.M.A.)が行なった走行調査を述べた。すなわち、ロスアンゼルスでの代表的走行サイクルを定めるために、この地方を代表するフリーウェイ、幹線路、住宅路、商業路、および大気汚染防止局がロスアンゼルス交通を代表すると定義した路線で運転条件の時間比を三つの方法で測定した。その一つはエンジンのマニホールドバキウムとスロットルの位置で運転条件を定義し、あるエンジン条件の時間が全運転時間にたいして占める時間比で示した。運転条件は急加速、緩加速、定速、中程度減速、急減速、

図5-2 トランスミッションによる時間比の相違¹⁹⁾



は中程度の減速とアイドルの時間比が自動よりも小さく、定速および急減速の割合が大きい。このことから、自動トランスミッション車からの炭化水素の排出量は手動車より小さいと推測し、手動と自動の平均値を各路線について表5-2の

図5-1 運転条件の経過と排気量
Ford-6, 1951年型



アイドルに分けた。第二の方法は車速変化を速度計から読みとる装置を用い、速度変化が1mph/sec以下を定速、アイドルは2mph以下と停止、加速はマニホールドバキウムが12inHg以下で、減速は20inHg以上、21inHg以上と23inHg以上の3通りに分けた。第三の方法は連続的に車速変化を記録させる装置

(チャート速度6in/min)で、停止または2mph以下をアイドル、速度の変化率が0.2mph/sec以上を加速および減速、0.2mph/sec以内を定速とした。

これらの測定による違いは各運転条件について平均1.4%で、135回の走行テストによる走行時間比は測定装置や実験車による影響がきわめて小さく、運転者による変動がこれらの約3倍を示す。また、トランスミッションで時間比が大きく異なり、図5-2のように手動トランスミッションで

表 5-2 走行路線による運転状態の相違¹⁹⁾

運転条件 \ 路線	合成ルート1A 時間比 %	幹線路線 時間比 %	住宅地区路線 時間比 %	フリーウェイ 時間比 %	商業地区路線 時間比 %	運転者による 平均偏差
全 加 速	19.0	12.3	15.6	12.5	16.7	± 3.8
定 速	37.3	51.7	35.5	56.6	33.4	± 5.7
アイドル	19.4	11.3	20.9	12.7	29.8	± 1.3
中 程 度 減 速	9.0	8.3	14.0	9.6	11.7	± 0.9
急 減 速	15.4	16.7	13.8	8.6	8.2	± 2.8
平 均 車 速	22.3	24.6	16.4	29.6	13.2	± 0.5

ように示した。商業路は自動車の停止-走行の度数が多いからアイドルの割合が大きく、平均車速がもっとも小さい。ロスアンゼルスでは朝と夕方の交通ピーク時の交通量が1日の50%を占めるから、交通ピーク時とオフピーク時の成績を等分に組合わせて平均した。交通のピーク時とオフピーク時で走行特性が異なる例を図5-3のように示した。住宅路

と商業路では低速の時間割合が大きく、交通量で傾向が異なる。平均車速はフリーウェイでピーク時

31.46 mph、オフピーク時

48.73 mph である。路線に

よる燃料消費も大きく異なり、フ

リーウェイでは燃料の大部分が高

速走行で消費され、住宅、商業路

は低速走行で多くの燃料が消費さ

れる。燃料の経済性はフリーウェ

イで交通のピーク時には16.57

マイル/ガロン、オフピーク時で

16.74マイル/ガロンと大差は

なく、合成路線1Aではピーク時

で12.70マイル/ガロン、オフ

ピーク時には12.01マイル/ガ

ロンを示し、燃料の経済性はフリ

ーウェイがもっとも良く、商業路

がもっとも悪い。さらに速度の連

続記録から加速を停止からXmph

までとXmphからYmphまでに、

減速をYmphからXmphまでと

Xmphから0mph(停止)まで

に区分した。速度巾を2-15、

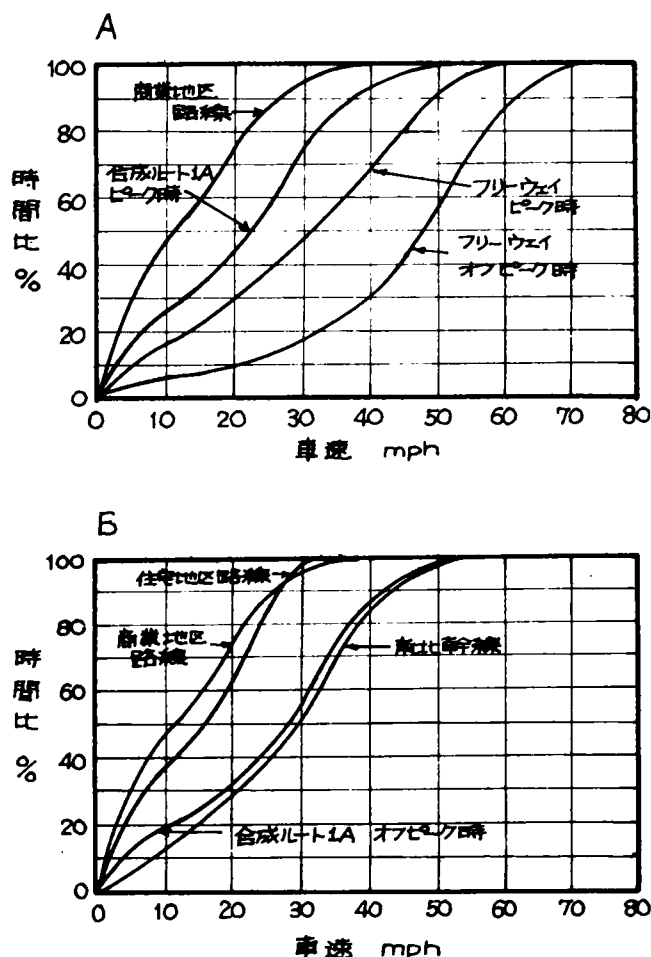
15-25、25-35、35-45、

45-55、55-65mphに分類し

て、平均の走行時間比と経続時間

からロスアンゼルス交通を代表

図 5-3 ロスアンゼルスにおける交通ピーク時とオフピーク時の走行特性
路線による時間比の相違¹⁹⁾



する走行サイクルを表5-3のように定めた。各速度条件における排気の排出量に、それぞれの走行時間比を乗じて炭化水素排出の指標 (Hydrocarbon output index) とした。

Chipmanら²⁰⁾は、バス (排気量 550~750 ft³, ガソリン) により、ロスアンゼルスでの走行調査を行なった。Western avenue (12.1 マイル) のバス通りで、走行速度とマニホールド圧、吸気量を測定した。走行時間比はアイドリング 39.8% (14.5 ft³/min), 加速 37.6% (106 ft³/min), 定速 2.2% (60 ft³/min), 減速 22.6% (14.5 ft³/min) で、Elliottら¹⁸⁾と等しく Teague¹⁹⁾ の値とは異なると述べた。() 内は平均の排気ガス量である。この場合には、フリーウェイと市街中心部がない。また、アイドルの最大経続時間が 110 秒 (平均 26 秒),

全加速度数の 70% はアイドルからの加速で、全加速時間の 80% 以上はマニホールドバキューム 0~5 inHg で、0~30 mph からの加速で、ワイドオープンスロットルの状態である。全減速度数の 83%, 全減速時間の 90% 以上は 20~30 mph からの減速で、35~31 mph からの減速が全減速時間の 26.0% (11.3 秒), 30~26 mph からの減速が 31.4% (10.0 秒), 25~20 mph からの減速が 33.2% (9.7 秒) を占めると述べた。() 内の値は平均経続時間である。

Chassら²¹⁾は、排出量算定のための走行サイクルの選定過程を述べた。ロスアンゼルスの典型的自動車走行路線をフリーウェイ、主な幹線路、商業路、住宅路の組合わせから規定し、80人の運転手で交通のピーク時とオフピーク時に走行させ、各人の運転条件 (アイドル、定速、加速、減速) の時間比を測定した。その中から、全体の運転動作を代表できるグループを選び、トランスミッション、交通量および路線による走行時間比の相違を検討した。その結果を加重した走行サイクルについて、排気ガス量と排気の測定から排出重量 (トン/日) を求め、これがカリフォルニアの排出規制の基礎とされたと述べた。また、Chipmanら²²⁾は、ロスアンゼルスでの走行時間比がアイドル 19.9% (6.2 ft³/min), 加速 21.1% (62.2 ft³/min), 定速 35.2% (33.4 ft³/min), 減速 23.8% (6.9 ft³/min) と述べた。() 内は平均排気ガス量である。

カリフォルニアでは、1959年に各汚染源の経年的排出傾向から、1970年の大気質を1940年レベルにまで浄化することを目的とした大気質に関する基準が設けられた。²³⁾ その際に、排気の排出基準 (CO 1.5%, n-hexane 275 ppm) が目標減少係数から定められ、²³⁾ 典型的走行パターンには Teague¹⁹⁾ が挙げた運転条件と時間比、加減速度が採用された。また、各運転条件の平均排出速度 (排気ガス) にそれぞれの走行時間比を乗じて荷重係数 (評価係数) と呼び、全排出ガス量にたいする割合とした。カリフォルニア基準の走行時間比および荷重係数は表5-4に示す。この場合の荷重係数は Teague¹⁹⁾ の炭化水素指標とは異なる。

表 5-3

ロスアンゼルス交通を代表するドライビングサイクル¹⁹⁾

条 件	速度変化 mph/sec	経過時間 sec	時間比	炭化水素 指標
アイドル		30	15.0	0.058
定 速	>0.2	30		
20 mph			6.9	0.17
30 mph			5.7	0.24
40 mph			2.7	0.27
50 mph			2.7	0.45
合 計			16.0	
加 速				
0-60 mph	3.7	20	1.1	0.93
0-25 mph	2.2	11	10.6	0.55
15-30 mph	1.2	12	25.0	0.37
合 計			36.7	
減 速				
30-20 mph	1.2	25	10.2	0.36
30-15 mph	1.4	11	11.8	0.20
30-0 mph	2.5	12	10.3	0.22
合 計			32.3	

Linville²⁴⁾は、ロスアンゼルスの大気汚染防止局

(APCB)が定義した運転条件を述べた。トランスミッション中立でスロットルを閉じた通常のアイドル、スロットルを開きマニホールドバキューム12 in Hg以下の加速、スロットルを開きバキュームが12 in Hg以上の定速、スロットルを閉じバキュームがアイドルより高い減速である。さらに、ロスアンゼルス交通を代表する自動車の平均的走行状態を表5-5のように示し、走行時間比と排気ガス量の相対比から大気汚染にたいする貢献度を示し、減速がもっとも大きな割合を占めると述べた。

表5-4 カリフォルニア基準に基定された走行時間比および荷重係数²³⁾

条 件	加速減速率 mph/sec	時間比 %	全サイクル走行時 の平均排気量 (ft ³ /min)
アイドル	—	15.0	4.2
定 速	—	—	—
20 mph	—	6.9	5.0
30 mph	—	5.7	6.1
40 mph	—	2.7	4.2
50 mph	—	0.7	1.5
加 速	—	—	—
0-60 mph	3.0	1.1	5.9
0-25 mph	2.2	10.6	18.5
15-30 mph	1.2	25.0	45.5
減 速	—	—	—
30-20 mph	1.2	10.2	2.9
30-15 mph	1.4	11.8	3.3
30-0 mph	2.5	10.3	2.9
		100.0	100.0

表5-5 各運転条件の大気汚染にたいする貢献度²⁴⁾

運転 サイクル	運転時間		排 気 量		時間比 x 排気量比	H.C.濃度 ppm	時間比 x H.C.濃度 x 排気量比	炭化水素 貢献度 %
	割合 %	時間比 %	ft ³ /分	比				
アイドル	19	10	8	1.0	1.0	800	800	5
定 速	19	10	60	7.5	7.5	540	4050	26
加 速	37	20	35	4.4	8.8	485	4270	27
減 速	25	13	8	1.0	1.3	500	650	4.2
							15620	100

しかし、時間比はカリフォルニア基準²³⁾とはかなり異なる。Chipman²⁵⁾は、カリフォルニアの街路条件で、走行時間比がアイドル19.9% (6.2 ft³/min)、加速21.1% (62.2 ft³/min)、定速35.2% (33.4 ft³/min)、減速23.8% (6.9 ft³/min)と述べ、1サイクルあたりの所要時間は67.5~72.7秒で平均排気の排出速度は2.27~2.76 ft³/minと述べた。Chass²⁶⁾はロスアンゼルス交通量の日中変化、交通の流れを考慮した合成ルートをもつ80人の運転手に走行させ、平均走行時間比がアイドル19% (5~25 ft³/min, 8 ft³/min)、加速19% (40~200 ft³/min, 60 ft³/min)、定速37% (25~60 ft³/min, 35 ft³/min)、減速25% (5~25 ft³/min, 8 ft³/min)を示したと述べた。()内は各条件の排気ガス量の範囲と平均を示す。

Maga²⁷⁾は、カリフォルニアの排出基準 (Assembly Bill 1368, Senate Bill 117) の制定経過を述べた。炭化水素排出が供給燃料にたいして5% (wt)と仮定すると、合成サイクル走行での炭化水素が1,375 ppm (n-hexane) COが3.8%に相当する。これに目標減少係数 (炭化水素80%, CO 60%) を乗じて排出基準値が導かれた。しかし、基準のサイクル条件、ならびに排気濃度は新しい資料により修正されるべきであると述べた。ここで定められた運転条件の定義 (表5-4) は自動車排気の評価における基準をはじめて規定したもので、排

気問題の解決のための第一歩としてその意義はきわめて大である。Smithら²⁸⁾は、排気の評価には運転条件が変化する加速、減速が重要で、マイラーバックにより走行サイクルの全排気を採取する方法がもっとも有効で、その大きさは200 ft³以下でよいと述べた。Mckeeら²⁹⁾は、1959年のカリフォルニアの自動車を代表する5台を用い、排気、クランクケース、気化器および燃料タンクからの汚染物量をテキサス（サンアントニオの近く）のアスファルト道路での実際走行から測定した。

走行サイクルはカリフォルニア基準の運転条件を適当に組合わせた連続サイクルで、1サイクルの経過に15分を要したと述べた。Kingら³⁰⁾も、カリフォルニア基準による測定を行なった。Clarksonら³¹⁾は、カリフォルニア基準の運転条件からMVPCBが7モードサイクルおよび11モードサイクルを規定した経過を述べた。その際に、カリフォルニアの自動車運転者の都心部における平均走行時間が20分で、ハイウェイでの平均走行時間が20.4分（走行距離平均7.6マイル）であると述べた。

Hassら³²⁾は、カリフォルニア条例からAPCBが規定した排気テスト法の走行サイクルについて詳述した。すなわち、自動車工業協会（A.M.A.）が行なった走行パターン調査¹⁹⁾から導かれた11個の走行条件がカリフォルニア基準に採用されたが、各運転条件は関連性がなく、この11個のモードのみから連続した走行サイクルを形成できない。そこでMVPCBでは基準条件の間に適当な転換モードを挿入して基準の時間比にもっとも近い時間分布となるようにした。すなわち、11モードサイクルがこれで、さらに簡単にするために4個のモードを削除した組合わせのなかから、基準の時間比に近いものを選んで7モードサイクルとした。これは3個の転換モードと7個の基準モードからなり、サイクル所要時間は137秒である。7モードサイクルの時間比はアイドル14.6%（15.0%）、定速21.9%（16.0%）加速31.4%（36.7%）、減速32.1%（32.3%）である。（ ）内の11モードサイクルの時間比とくらべて、定速と加速がかなり異なるが、これらの相違と削除された4個のモードの影響はきわめて小さいとされ、排気と除去装置の性能評価に7モードサイクルのみを用いることが提唱された。また、処理装置やエンジンの温度が低い場合、すなわち、走行のはじめと定常状態での排出が異なることから、ウォームアップサイクル（コールドサイクル）とホットサイクルに分けられた。最終的には全ての走行がコールドスタートから始まるとして、6回の7モードサイクルと1回の11モードサイクルからなるテストパターンが、1961年にMVPCBで規定された。³¹⁾ 実際のテストはシャシーダイナモで行ない、各条件の値に加重係数を乗じて求めたウォームアップサイクル（7モードサイクル、4回）の平均濃度に係数0.45を掛け、11モードサイクル（ホットサイクル）の濃度値に係数0.55を掛け、両者の平均で排気濃度とすることとされた。この係数（0.45、0.55）はロスアンゼルスでの平均走行時間が20分で、ウォームアップサイクルに要した時間（9分）との比（9分/20分）および残り（11分）との比（11分/20分）である。また、同じ自動車による連続テストでもっともよい再現性は±10%と述べた。³¹⁾ また、幹線路とフリーウェイにおける実際の走行テストの成績にはかなり大きな違いがみとめられ、シャシーダイナモテスト法による測定値がこの両者のほぼ中間を示すと述べた。³¹⁾ その後ダイナモテストが実際の都市の走行状態（ロードテスト）や、カリフォルニア基準による値とも大きく異なる²⁷⁾ことから、カリフォルニアの公衆衛生局では1964年に新しい7モードサイクルのみによる測定基準が採用された。³²⁾ その際に、運転者、路線、自動車、交通量などの要素の再検討がされた。

Pattisonら³³⁾は、ロスアンゼルス中心部でスモッグ前駆物質の濃度がピークを示すのは朝夕のラッシュ時で、夕方のピークは翌朝までに消散する。地理的にスモッグのもっとも高いピークは市の中心部の風向が関係して、朝の交通のピーク時に市の東部に現われる。このため、市の中心部で、朝の交通ピーク時の走行状態にもとずく評価が必要であると述べた。ロスアンゼルスでは朝の交通ピーク時の平均車速はフリーウェイは50 mph以上で、市の公会堂から半径5～6マイル内の下町では0～35 mphと最低の走行状態である。全市の平均車速は中心地区の平均値（21.6 mph）を含めて22.2 mphで、市の南部地区は20.6 mphと低い。そこで、公会堂を中心とした直径12マイルの円形の中心部の航空写真をラッシュ時に5分間隔で撮り、ピーク時の各路線における平均交通費と路線長を求め、各路線での走行テストから交通ピーク時の平均車速と走行モードの時間分布をも測定した。ラッシュ時に各路線に存在する自動車数に走行時間比を乗じ、各モードにある自動車数を算出した。市内全域の路線ごとのモード分布（自動車数）の総計をウェイトとして、全

市の平均速度を算出した。路線はフリーウェイ、幹線路で12マイルの円内と円外、ならびに細路で、その成績は表5-6のように示した。フリーウェイの交通量は円内57.5%、円外42.5%、幹線路では円内 $\frac{2}{3}$ 、円外 $\frac{1}{3}$ である。これらのことから、ダイナモメーターのテストサイクルは朝の交通ピーク時の走行状態と一致させ、バグサンプリングに適切なサイクルとすべきである。7モードサイクルは平均速度22.6 mph、最高速度55 mph、最低の定速を15 mph から20 mph に変更すべきで、スロットルを閉じた減速をサイクルに入れる

必要がある。また、手動トランスミッションのシフトは第一速から第二速へは15 mph、第二速から第三速へは20 mph とすべきと述べた。その後、カリフォルニアでは排気と処理装置の性能測定法の詳細が州のMVPCB³⁴⁾ から示された。テストサイクルは全てのガソリン乗用車、および車体重量が $\frac{1}{2}$ トンまでのガソリン車に適用され、7モードサイクルで時間分布ならびに評価係数は元のままとされた。すなわち、コールドスタートからの20分間の都心部走行による

表5-7

車体重量が $\frac{1}{2}$ トンを超えるバス、トラックにたいするテストサイクル³⁴⁾

順序	モード	マニホールド バキューム	モードの持続 時間 (秒)	通算時間 (秒)	荷重係数
1	アイドル	-	70	70	0.036
2	定速	16" Hg	23	93	0.089
3	部分スロットル加速	10" Hg	44	137	0.257
4	定速	16" Hg	23	160	0.089
5	部分スロットル減速	19" Hg	17	177	0.047
6	定速	16" Hg	23	200	0.089
7	全負荷	3" Hg	34	234	0.283
8	定速	16" Hg	23	257	0.089
9	スロットル全閉	-	43	300	0.021

る平均濃度の評価で、4回のコールドサイクルと2回のホットサイクルで測定するとされた。さらに、全てのトラックやバスで、車体重量が $\frac{1}{2}$ トンを超えるものは2回のウォームアップサイクルと2回のホットサイクルによる測定が提案され、テストサイクルとして表5-7に示す7モードサイクルを用いるとされた。

Maga³⁵⁾ は、カリフォルニア基準では濃度が規制されたが実際には排出絶対量の基準を制定すべきである。そのうえ、規制の基本には炭化水素の光化学反応ポテンシャルの評価がなく、真の大気汚染防止の観点からはきわめて不十分な規制で、テストサイクルも検討を要する点が多いと述べた。

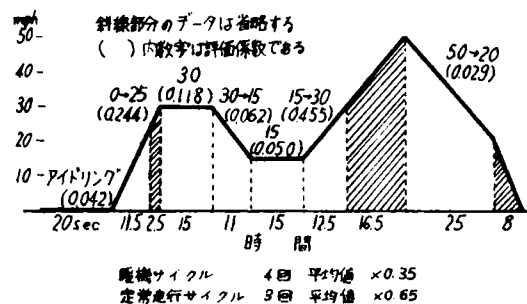
1966年3月には自動車排気にたいする排出規制が全米に実施され、1968年度の新型車からの適用がFederal Register vol 31 4661³⁶⁾ で公布された。適用自動車は $\frac{1}{2}$ トン以上の営業車、排気量50ft³以下の車、3輪以下の車を除く全てのガソリン自動車で、排出基準値は排気量で区分された。すなわち、50-100ft³車はCO2.3%、n-hexane 410ppm、100-140ft³車はCO2.0%、n-hexane 350ppm、140ft³以上はCO1.5%、n-hexane 275ppmである。これらは市街地をコールドスタートして約17分間の平均走行での排気濃度を評価基準としたもので、カリフォルニアの7モードサイクルがそのまま採用された。4回のコールドサイクルと3回のウォームアップサイクルによる測定で、サイクルの加重係数がコールド(0.35)、ホット

表5-6

ロスアンゼルス市の公会堂を中心とした半径6マイルの円区割内外の走行状態³³⁾

路線	台数 台/時	平均車速 mph
フリーウェイ 円内	6,256	22.1
フリーウェイ 円外	4,381	54.0
幹線路 円内	1,190	19.0
幹線路 円外	642	22.0
細路	141	17.5

図5-4 7モードサイクルの模式図³⁶⁾



(0.65)とされた。7モードサイクルのパターンを模式的に図5-4に示す。しかし、この走行サイクルは米国の諸都市の走行様式を代表するものではなく、光化学スモッグの発生がもっとも激しいロスアンゼルスのパターンを全米に適用したものである。また、カリフォルニア基準

図5-5 ヨーロッパ統一サイクル案³⁷⁾

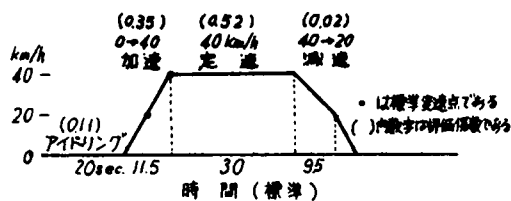
制定された時期からすでに十年以上を経過しており、市内の走行状態がかなり変化しているから、1970年には新しい走行サイクルが設定されようとしている。³⁵⁾

一方、ヨーロッパでは図5-5に示す欧州統一サイクルが提唱されたと述べられている³⁷⁾が、その誘導過程は明らかでない。

わが国でも1966年秋から排気ガス規制が実施され、1967年秋から新造車全部に適用された。³⁶⁾排出規制は0.0(3%)のみで、シャーシダイナモテストによる測定とされた。しかし、

テストサイクルには交通事情が米国と異なるとして、運輸省船舶技術研究所案³⁷⁾の4モードサイクル(図5-6)が適用

図5-6 わが国の4モードサイクル³⁸⁾



された。アイドル、0Km/hから40Km/hへの加速、40Km/hでの定速、40Km/hから0Km/hへの減速からなり、図には評価係数をも示す。この4モードサイクルが選定された根拠としては、同研究所の副島ら³⁹⁾が東京都内の走行パターンの測定結果が表5-8であったと述べ、その際のテストAの減速係数が4モードサイクルの評価係数に用いられている。しかし、4モードサイクルに示さ

表5-8 東京都における走行時間比および荷重係数³⁹⁾

た時間分布はアイドル28.2%(20秒)、加速16.2%(11.5秒)、定速42.3%(30秒)、減速13.4%(9.5秒)で、表のテストAに示された時間分布とは異なり、荷重係数算定法、走行パターンの時間分布などの基礎資料も公表されていない。

走行条件	アイドル	加速 (Km/h 0~40)	定速 (40Km/h)	減速 (Km/h 40~0)
走行時間比				
A	0.35	0.14	0.45	0.06
B	0.30	0.25	0.30	0.15
C	0.20	0.15	0.55	0.10
荷重係数				
A	0.11	0.35	0.52	0.02
B	0.09	0.55	0.31	0.05
C	0.06	0.34	0.57	0.03

第3節 実験条件ならびに方法

3-1 実験自動車

わが国の自動車生産(昭和40年)の構成³⁹⁾ 40)は乗用車37.2%、トラック6.18%(内、ガソリン車89.6%)、ディーゼル車10.4%、バス1.0%で、対前年生産比は乗用車(116.5%)が最大のび率を示し、トラック(106.9%)、バス(100.6%)には顕著な傾向がない。また、モーターリゼーションの発展で、乗用車の普及が急速に高まっている。乗用車の気筒容積別構成比³⁹⁾は360cc以下14.9%、361~1,000cc17.5%、1,001~1,500cc49.4%、1,501~2,000cc17.8%、2,001cc以上0.4%で、1,001~1,500ccクラスが約半数を占め、大衆

車といわれるゆえんである。本研究では1,500 cc クラスの乗用車を使用した。すなわち、プリンススカイライン、1,500 cc、1961年型車、および1964年型車で、実験車のトランスミッションはいずれも手動で、1961年型車は前進4段、後進1段、1964年型車は前進3段、後進1段である。燃料にはエッソガソリン（78～85 オクタン）を使用した。

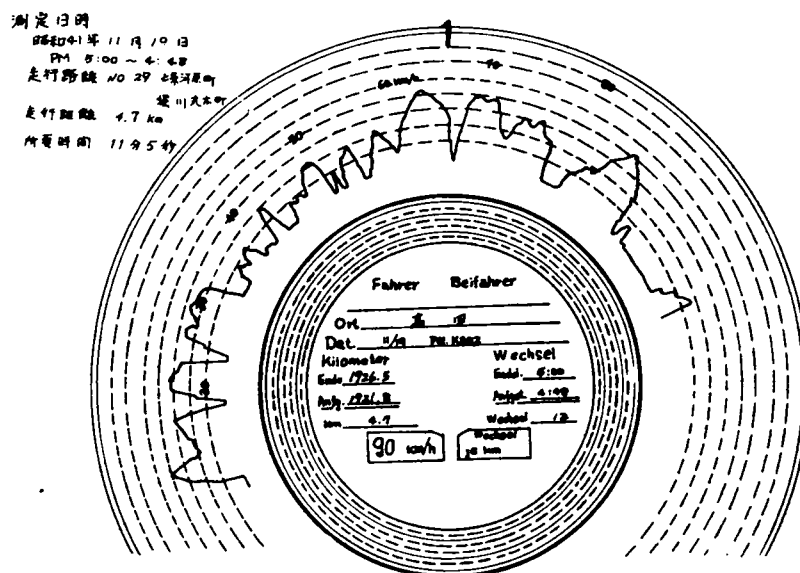
3-2 測定項目ならびに方法

1. 走行記録

走行時にタコグラフ、24分計（Yazaki TCO-11型、矢崎総業、東京）で速度の時間変化を記録した。この装置の記録方式は回転する円形記録紙によるもので、24分で1回転するために走行路線が長い場合には適当な停止時に記録紙を取換え、その間の時

図5-7 トリップチャートの例

間は補正した。なお、トリップチャートを約8倍に拡大して解析した。タコグラフによる车速の記録は自動車の速度計と同様で、速度計には許容誤差が $-1.5 \sim +4.5\%$ とされており³⁹⁾、本研究に使用したタコグラフの精度もこの程度とみられる。京都市中心部における走行記録の例を図5-7に示す。



2. エンジンの回転数

走行時の各運転条件について、エンジンの回転数を
 チュンナップテスター
 (Safety V-12, 安全自動車、大阪) により測定した。

3. インテークマニホールド圧

走行時のインテークマニホールドをバキュープレッシャーゲージ（PV-1, 安全自動車、大阪）により測定した。

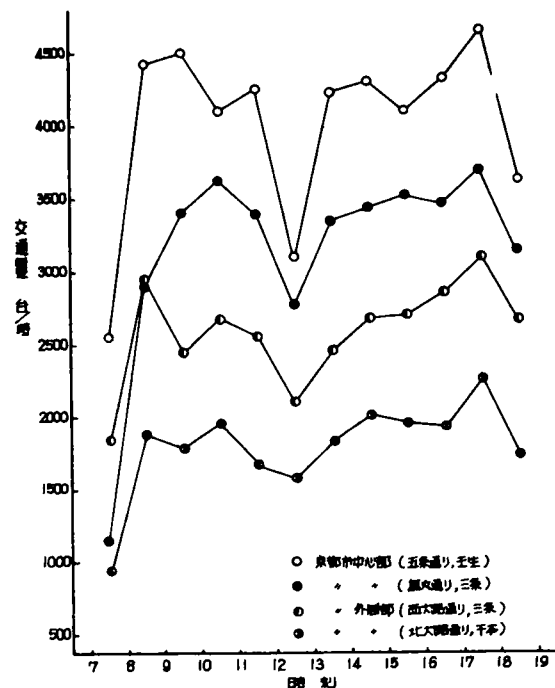
3-3 走行条件

自動車の走行パターンは曜日、道路巾、交通信号、交通量および気象条件などとともに、運転者の習性で大きく影響される。⁴⁰⁾ このため、本研究ではあらかじめ特定の走行路線を定め、各路線では当該道路の自然交通の流れに一致して実験車を走行させて、運転者習性による影響をできるだけ除くように努めた。また、法定最高速度（中心部40 km/h、外周部50 km/h）にはとくに考慮しなかった。

昭和40年秋の交通量調査⁴³⁾ から、交通量の時刻変化を中心部2地点（五条通り 壬生、烏丸通り 三条）、外周部2地点（西大路通り三条、北大路通り千本）について示すと図5-8のとおりである。各地点とも朝の交通ラッシュ時の7～8時から交通量が急増し、12～13時にいったん減少したのち増加して、夕方のラッシュ時（17～18時）に最大値を示し、18～19時には大巾に減少する。他の市内地点でも同様の傾向がみとめられ、京都市内での自動車交通量は12～13時の間を除くと8～18時では大差がない。そこで、実験走行は14～18時とし、日曜日および雨天は除外した。

大阪市内でも、交通量の増減傾向は京都市と大差がない⁴⁴⁾から、同様の時間に走行実験を行なった。

図 5-8 京都市の中心部と外周部における交通量の経時変化

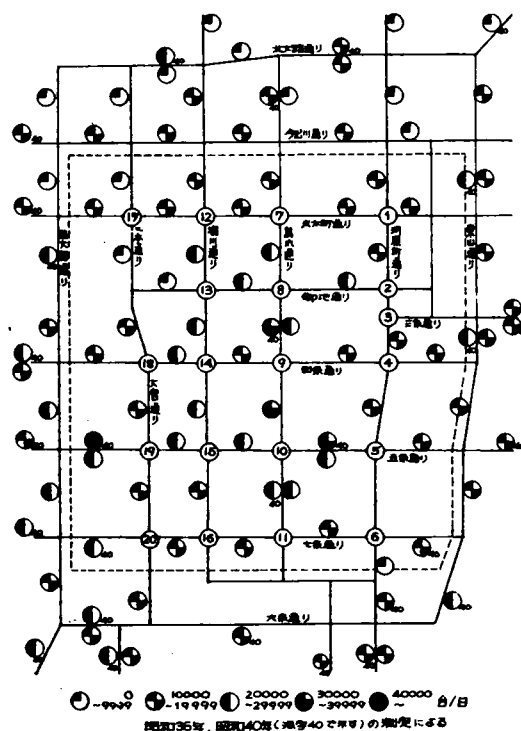


第 4 節 走行路線の選定

4-1 京都市の中心部

昭和 36 年の交通量調査観測資料 (京都府警察本部, 京都市都市計画局)⁴²⁾, ならびに昭和 40 年 (春, 秋) の道路交通情勢調査の成績⁴³⁾ (京都市都市計画局) から, 京都市内の主要道路における 1 日 (午前 7 時から午後 7 時まで) の交通量分布は図 5-9 のようである。昭和 36 年の市内交通量は 3,236~3,240 台/日で, 昭和 40 年 (7,748~44,746 台/日) には約 129~213% の増加率を示す。これらの資料から比較的交通量が大きく, 交差点の交通流特性が測定されている市の中心部を実験区域とした。すなわち, 図 5-9 の破線内区域である。この区域内の主要な交通路は東西に, 丸太町通り, 御池通り, 四条通り, 五条通り, 七条通り, 南北に, 河原町通り, 烏丸通り, 堀川通り, 千本通り (大宮通り)

図 5-9 京都市における主要道路の交通量



である。東山通り、九条通り、西大路通り、北大路通りは交差点の交通流特性の資料がないために除外した。実験区域の面積は約15km²で、交通量の大きい市内面積(約61km²)の約24%を占める。走行実験を行なった道路の総延長は約22kmで、市内の主要道路延長(約87km)の約25%である。

実験区域内には図5-9に番号を付した20交差点の交通流特性の調査(昭和40年7月~9月、10~18時)があ

表5-9 各交差点での交通流特性⁴²⁾(1時間あたり)

昭和40年7月~9月、10~18時

番号	交差点名	進入方向	直進%	左折%	右折%	合計合数 台/h	番号	交差点名	進入方向	直進%	左折%	右折%	合計合数 台/h
1	河原町 丸太町	東行	72	14	14	958	11	烏丸七条	東行	61	26	13	600
		西行	68	24	8	824			西行	56	19	25	766
		南行	76	8	16	886			南行	77	4	19	776
		北行	67	15	18	1120			北行	77	13	10	856
2	河原町 御池	東行	54	25	21	1510	12	堀川丸太町	東行	63	14	23	1098
		西行	83	11	6	886			西行	66	21	13	952
		南行	56	11	33	1094			南行	84	9	7	1730
		北行	61	30	9	1182			北行	84	2	14	1380
3	河原町 三条	東行	0	50	50	16	13	堀川御池	東行	75	8	17	510
		西行	1	62	37	454			西行	31	31	38	1504
		南行	93	6	1	1018			南行	65	31	4	1732
		北行	83	1	16	1358			北行	52	7	41	2326
4	河原町 四条	東行	38	42	20	982	14	四条堀川	東行	55	33	12	1530
		西行	54	22	24	716			西行	63	18	19	1124
		南行	51	18	31	1094			南行	65	13	22	2120
		北行	78	11	11	1528			北行	81	11	8	1720
5	河原町 五条	東行	63	26	11	1482	15	堀川五条	東行	62	23	15	2188
		西行	77.5	0.5	22	1108			西行	69	14	17	1860
		南行	60	11	23	988			南行	53	16	31	1800
		北行	66	14	26	1144			北行	59	22	19	1176
6	河原町 七条	東行	47	36	17	860	16	七条堀川	東行	39	31	30	810
		西行	63	9	28	586			西行	66	9	25	528
		南行	61	11	28	960			南行	66	11	23	1040
		北行	81	8	11	588			北行	81	15	4	1018
7	烏丸太町	東行	74	6	20	912	17	千本丸太町	東行	67	11	22	1234
		西行	58	23	19	1128			西行	77	11	12	914
		南行	68	22	10	860			南行	60	21	19	604
		北行	54	20	26	910			北行	53	37	10	726
8	烏丸御池	東行	71	14	15	1440	18	四条大宮	東行	86	5	9	1086
		西行	66	20	14	1702			西行	76	7	17	1126
		南行	62	22	16	1586			南行	50	39	11	646
		北行	58	17	25	1474			北行	42	19	39	798
9	四条烏丸	東行	61	26	13	1020	19	大宮五条	東行	86	5	9	1818
		西行	55	23	22	1135			西行	83	13	4	2288
		南行	68	18	14	1700			南行	59	24	17	758
		北行	72	10	18	1524			北行	38	18	44	868
10	烏丸五条	東行	68	24	8	1700	20	七条大宮	東行	64	10	26	988
		西行	75	9	16	1694			西行	57	37	6	944
		南行	52	16	32	1470			南行	78	11	11	806
		北行	61	21	18	1084			北行	52	16	32	1258

る。その結果は表 5-9 に示す。表には各交差点での自動車の進入方向、進入車の直進、左折、右折の割合、ならびに進入台数をも示す。1 時間あたり、1,072~7,024 台が交差点を通過し、進行方向の平均は直進が約 63% (0~93%) ともっとも大きく、右折車は約 19% (1~50%) で左折車の約 18% (1~50%) とほぼ同程度である。外部から、この地区に進入する自動車が最初に通過する区域内の交差点は合計 15 か所でその内訳は表 5-10 に示す。表には各交差点での進入方向と流入交通量 (台/時) をも示す。

本研究では、この流入交通量値を比例配分して実験車の出発地点、最初の交差点での進行方向を決定した。すなわち、外部から区域に流入する地点は 15 とおりで、はじめて通過する交差点から区域内への進行方向は 19 と

おりである。この 15 交差点への流入交通量総和にたいして、各流入方向の交通量が示す割合は表 3-10 に示すとおり、2.6~10.1% である。五条大宮を西から流入する割合 (10.1%) と千本丸太町を西から流入する割合 (9.6%) が大きい。ここで、乱数表を 30 回引き、その値と表 3-10 に示した累積百分率から実験車の区域内への流入方向を決定した。

さらに、実験区域内の進行方向も同様に、各交差点の交通流特性 (直進、右折、左折) を累積百分率であらわし、乱数表から順次に走行路線を決定した。実験路線の終りは実験区域外へ出るところとし、表 5-11 に示す合計 30 とおりの

表 5-10 進入地点ならびに進行方向の決定

交差点 番号	交差点名	進入 方向	流入 交通量	交通量 %	累積 %
1	河原町 大宮	南行	686	4.9	4.9
		西行	824	4.6	9.5
2	河原町御池	西行	886	4.9	14.4
3	河原町五条	西行	454	2.6	17.0
4	河原町五条	西行	716	4.0	21.0
5	河原町五条	西行	1108	6.1	27.1
6	河原町七条	西行	586	3.3	30.4
		北行	580	3.3	33.7
7	鳥丸大宮	南行	860	4.8	38.5
11	鳥丸七条	北行	856	4.7	43.2
12	堀川大宮	南行	1730	9.6	52.8
13	堀川御池	東行	510	2.8	55.6
16	七条堀川	北行	1018	5.6	61.2
17	千本丸太町	南行	604	3.4	64.6
		東行	1234	6.8	71.4
18	五条大宮	東行	1086	6.0	77.4
19	五条大宮	東行	1818	10.1	87.5
20	七条大宮	東行	988	5.5	93.0
		北行	1258	7.0	100.0

[illegible]

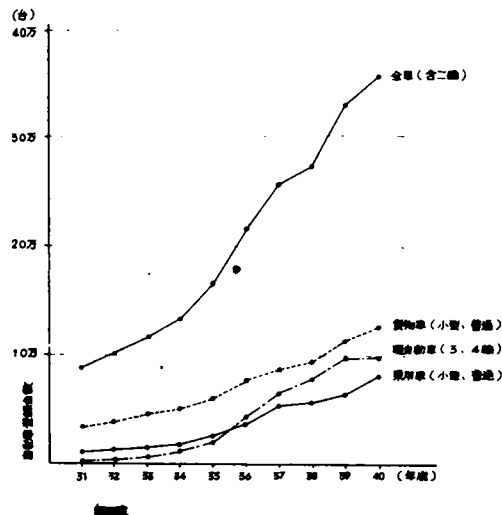
-220-

大通路りを連ねた循環路線の往復（1周22.0Km），今出川通り（銀閣寺－白梅町，5.6Km），七条通り（大宮七条－西大路七条，1.6Km），五条通り（大宮五条－西大路五条1.8Km），四条通り（大宮四条－西大路四条，1.8Km），烏丸通り（烏丸丸太町－烏丸北大路3.0Km），堀川通り（堀川丸太町－堀川北大路2.7Km），千本通り（千本丸太町－千本北大路2.6Km），河原町通り（河原町丸太町－河原町北大路，3.0Km）の区間である。

4-3 大阪市の中心部

大阪市も自動車交通の増加が著しい。大阪市総合計画局計画部の資料⁴⁴⁾によれば昭和40年以来、毎年約3万台ずつ増加し、昭和40年での市内の自動車登録台数は331,383台（大阪府下約545,000台）で、昭和31年からの増加傾向は図5-10のとおりである。なかでも、乗用車（小型、普通車）が全自動車数に占める割合が増大し、昭和35年の乗用者15.1%、貨物車36.6%が昭和40年は乗用者22.2%、貨物車35.3%（昭和40年の東京都、乗用車36.4%、貨物車33.2%）となった。このため、昭和38年ごろから市内の主要交差点での交通量の伸び率が停滞し、交通麻痺の発生が急増した⁴⁴⁾。一方、自動車排気による大気汚染度も年々増大し、早急

図5-10 自動車登録台数の推移（大阪市）⁴⁴⁾



な対策がのぞまれている。⁴⁵⁾しかし、大阪市では詳細な交通量の調査は多いが、交差点の交通流特性の資料は全くない。このため比較的交通量の大きい市中心部で走行パターンの測定を行なった。¹¹⁾⁴⁶⁾すなわち、大阪市庁－戎橋－今里－緑橋－磯人橋－南森町－梅田新道－市庁を連ねた循環路線で、その全長は15Kmで、実験車の走行は14～16時とした。

4-4 調査期日

京都市内中心部の走行実験は昭和41年10月1日から12月20日の間に行ない、京都市外周部は昭和42年4月1日から6月30日までの間に行なった。

大阪市では昭和42年6月29日から7月14日の間で、各測定とも雨天および日曜日は除外した。

第5節 走行パターンの解析方法

都市での自動車は交通信号、横断歩道、あるいはとくに法令指定地点（たとえば、狭い道路から広い道路に出る場合など）で、一時停止したのち再び走行をはじめ、つぎの停止に至る間にさまざまな運転様式で走行する。この間に起こる運転条件は道路、交通量ならびにつぎの停止点までの距離などで大きく変化する。このような運転条件の変化のなかから一定の規則性を確かめ、それにもとづいてもっとも典型的な走行サイクルを導くことを目的とした。すなわち、実測条件に単純マルコフ連鎖理論⁴⁷⁾⁴⁸⁾を適用して、合理的な走行サイクルのモード数の期待値を求めた。

自動車の走行は基本的には、アイドル（停止）、定速、加速および減速の4つの運転モードに分類され、Chipman²⁹⁾、Faith¹⁵⁾はマニホールドバキウム圧から各モードを定義した。また、カリフォルニア基準³⁴⁾および全米規則³⁶⁾では、加速度 $(1.2 \text{ mile/sec}^2 \text{ と } 2.2 \text{ mile/sec}^2)$ が規定され、わが国の4モードサイクル⁸⁾でも加速度 0.1 g (3.5 Km/h/sec)と減速度 0.06 g (2.1 Km/h/sec)が定められた。

本研究に使用した自動車の走行条件とエンジンの回転数、マニホールドバキウムは第三章で述べたとおり、アイドル時の回転数600rpm、マニホールドバキウム50cmHgである。路線走行で記録したタコグラフのトリップチャートの時

間-速度曲線から、各モードの速度条件について、出現頻度、継続時間を測定した。

実際に都市内を走行する自動車の走行パターンはさまざまな速度条件が連続しているが、この走行モードの連続性にはつぎの4とおりの規則性が存在する。

1. アイドル（停止）のつぎには必ず加速が起こり、他のモードがアイドルのつぎに現れることはない。
2. 加速のつぎには定速、もしくは減速が起こり、加速のつぎにアイドルの起こることはない。
3. 定速のつぎには加速、もしくは減速が起こり、アイドルが定速につづいて起こることはない。
4. 減速のつぎには加速、定速、またはアイドルが起こる。

ここで、ある走行モードは、その直前のモードだけに關係して現れ、それ以前、あるいはつぎに起こるモードには關係が全くないと仮定する。この仮定は実際の走行でも正当性がみとめられる。

これらのことから、状態 E_j の組合わせて形成される一連の現象で、状態 E_i のつぎの状態 E_j が現れる確率が P_{ij} として与えられるときには、単純マルコフ連鎖理論が適用でき、もっとも期待される現象が推定できる。^{47) 48)}

今、遷移確率行列式 P が

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1a} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2a} \\ \vdots & \vdots & & \\ P_{a1} & P_{a2} & \cdots & P_{aa} \end{pmatrix} \quad \cdots \cdots \cdots (5-1)$$

であらわされるときには、状態 E_j から始めて n ステップ目が状態 E_k である確率、 $P_{jk}^{(n)}$ は

$$P_{jk}^{(n)} = \sum_{r=1}^a C_r \chi_j^{(r)} \gamma_k^{(r)} S_r^{-n} \quad \cdots \cdots \cdots (5-2)$$

で与えられる。^{47) 48)}

ここで、

$$\chi_j^{(r)} = S_r \sum_{\nu=1}^a P_{j\nu} \chi_\nu^{(r)} \quad (j=1, 2, 3, \cdots) \quad \cdots \cdots \cdots (5-3)$$

$$\gamma_m^{(r)} = S_r \sum_{k=1}^a P_{km} \gamma_k^{(r)} \quad (m=1, 2, 3, \cdots) \quad \cdots \cdots \cdots (5-4)$$

$$1 = C_r \sum_{\nu=1}^a \chi_\nu^{(r)} \gamma_\nu^{(r)} \quad \cdots \cdots \cdots (5-5)$$

である。

したがって、状態 E_j から始めて n ステップ目に状態 E_j が現れる確率、 $P_{jj}^{(n)}$ は

$$P_{jj}^{(n)} = \sum_{r=1}^a C_r \chi_j^{(r)} \gamma_j^{(r)} S_r^{-n} \quad \cdots \cdots \cdots (5-6)$$

となる。

また、状態 E_j から始めて状態 E_k が n ステップ目に現れる確率、 $f_{jk}^{(n)}$ は次式で与えられる。

$$f_{jk}^{(n)} = P_{jk}^{(n)} - \sum_{\nu=1}^{n-1} f_{jk}^{(n-\nu)} P_{kk}^{(\nu)} \quad \cdots \cdots \cdots (5-7)$$

それゆえ、状態 E_j から始めて n ステップ目にはじめて状態 E_j があらわれる確率、すなわち、再帰時間率、 $f_{jj}^{(n)}$ は

$$f_{jj}^{(n)} = P_{jj}^{(n)} - \sum_{\nu=1}^{n-1} f_{jj}^{(n-\nu)} P_{jj}^{(\nu)} \quad \cdots \cdots \cdots (5-8)$$

であらわされる。

ゆえに、 $f_{jj}^{(n)}$ の平均、すなわち平均再帰時間、 μ_j はつぎのとおりで示される。

式 5-6 から

$$P_{jj}^{(n)} = \frac{1}{\mu_j} + \sum_{r=2}^n \rho_{jj}^{(r)} S_r^{-n} \quad \dots\dots\dots (5-9)$$

$$\text{ただし、} \rho_{jj}^{(r)} = C_r \chi_j^{(r)} \gamma_j^{(r)}$$

と変形できるから

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_{jj}^{(n)} = \frac{1}{\mu_j} \quad \dots\dots\dots (5-10)$$

となる。

μ_j にたいする分散、 σ_j^2 は

$$\frac{\sigma_j^2 - \mu_j + \mu_j^2}{2\mu_j^2} = \sum_{n=0}^{\infty} \left(P_{jj}^{(n)} - \frac{1}{\mu_j} \right) \quad \dots\dots\dots (5-11)$$

から

$$\sigma_j^2 = \mu_j - \mu_j^2 + 2\mu_j^2 \sum_{n=0}^{\infty} \left(P_{jj}^{(n)} - \frac{1}{\mu_j} \right) \quad \dots\dots\dots (5-12)$$

で与えられ、期待されるモード数は μ_j で与えられる。

したがって、状態 E_j のつぎに状態 E_k が現れる確率 P_{jk} を実際の走行実験から求めて、アイドルから n モード目にアイドルにもどる確率、 $f_{11}^{(n)}$ を算出する。さらに、 $f_{11}^{(n)}$ が最大になる n を求めると、 n モードで構成される走行サイクルが現れる可能性がもっとも大きいことを意味する。

本章では、 $f_{11}^{(n)}$ を最大にする n 、平均再帰時間による n 、ならびに実測結果の総合から実験区域における自動車の走行にたいしてもっとも妥当な走行サイクルを誘導した。

第 6 節 京都市中心部における成績

6-1 走行モードの時間比

京都中心部で選んだ 30 路線のトリップチャートの速度-時間曲線をアイドル、定速、加速および減速に分類した。すなわち、走行停止で、エンジンの回転数が 600 rpm、マニホールドバクウム 50 cm Hg 付近をアイドルとし、車速の上昇、あるいは下降の傾向が 6 km/h を越えて続く場合を加速、あるいは減速条件とした。この場合、トランスミッションのシフト、フットブレーキ、アクセルペダルの操作で生じる速度勾配（加減速度）の異なった加速、または減速が連続して起こる場合は、いずれも一つの加速、または減速条件とした。また、一定速度が継続する場合を定速とした。この場合には速度計の許容誤差（-1.5 ~ +4.5 %）⁴⁹⁾ から、速度変動の範囲が ±3 km/h 以内をほぼ定常とみなした。

各路線での走行モードの時間比を路線別に表 5-12 に示す。すなわち、走行時間の総計にたいしてアイドル、加速、定速および減速に要した時間の占める割合を示す。実験路線長は平均 3.1 km（0.6 ~ 11.8 km）で、走行所要時間は 20.5 秒 ~ 36 分 39.5 秒（平均 8 分、8.7 秒）で、平均車速は 11.9 ~ 44.1 km/h（平均 20.8 km/h）を示した。各路線での走行モードの時間比はアイドル 8.0 ~ 48.0 %（平均 30.4 %）、加速 15.0 ~ 40.6 %（平均 25.9 %）、定速 0 ~ 63.0 %（平均 27.0 %）、減速 11.0 ~ 46.8 %（平均 16.7 %）と大巾な変動を示す。これらの相違は路線の中員、交通量、交差点間隔、交通信号などの影響と考えられる。実験区域では発進-停止の度数が多く、アイドルの時間比とともに、加速と減速、すなわち遷移モードの占める割合が非常に大きく、定速の時間比が小さい。表の路線番号 15（堀川

表5-12 所要時間の時間百分率
(京都中心部)

所要時間 分	所要時間 分	所要時間 分	所要時間 分	所要時間 分	所要時間 分	所要時間 分
1	1' 27" 3	33.0	8.0	15.0	63.3	13.6
2	1' 11" 7	20.1	48.0	27.1	11.0	13.9
3	3' 24" 5	28.2	37.2	32.0	19.9	10.9
4	2' 14" 8	17.9	46.9	21.6	12.3	19.2
5	14' 13" 5	18.1	34.0	29.4	15.3	21.3
6	4' 22" 8	26.0	20.5	23.1	39.0	17.3
7	5' 48" 5	19.6	32.5	29.3	21.3	16.5
8	4' 52" 7	29.5	26.6	20.5	36.8	16.1
9	3' 39" 2	18.6	30.9	26.9	25.1	17.1
10	9' 51" 9	15.2	29.3	22.4	32.8	15.5
11	1' 29" 8	44.1	28.5	24.0	21.8	25.6
12	17' 39" 3	22.1	26.5	31.5	26.1	15.9
13	8' 8" 6	24.3	27.1	23.0	34.2	15.7
14	6' 30" 5	24.8	24.8	21.0	40.7	13.5
15	0' 20" 5	17.6	37.6	16.1	0.0	46.3
16	6' 24" 6	15.0	36.9	22.7	22.7	17.7
17	2' 59" 0	24.1	17.7	26.8	41.3	14.2
18	8' 14" 6	24.0	19.9	26.6	35.1	18.5
19	3' 26" 7	17.4	32.7	18.7	35.1	13.5
20	8' 46" 2	17.5	37.7	19.8	31.3	11.0
21	3' 58" 2	36.3	32.5	31.0	19.7	16.8
22	12' 26" 2	22.2	28.1	28.1	31.2	12.7
23	8' 56" 9	22.8	22.6	22.9	39.0	15.5
24	3' 59" 3	27.1	48.3	22.6	18.7	14.5
25	2' 29" 0	41.1	16.3	40.6	24.3	18.8
26	6' 22" 8	22.6	35.1	23.2	26.5	15.2
27	7' 05" 2	18.6	27.5	23.3	30.3	18.9
28	13' 05" 5	16.5	35.6	28.0	21.3	15.1
29	11' 05" 4	25.4	15.5	29.5	31.8	22.2
30	8' 37" 8	25.0	21.5	27.1	33.2	18.2
平均	8' 08" 7	20.8	30.3	25.8	26.9	17.0

今出川ー堀川丸太町ー千本丸太町ー円町、路線長1.2km)では定速の時間比が0%で、全走行が遷移条件というきわめて特徴的なパターンを示す。そのうえ、アイドルの時間比(37.6%)が非常に大きく、減速の時間比(46.3%)がほぼ走行時間の半ばを占める。船舶技研案⁷⁾の時間比(アイドル35.0%、加速14.0%、定速45.0%、減速6.0%)とくらべると、本測定の値(平均)はアイドルが30.3%とやや近く、加速(25.8%)が約2倍、減速(17.0%)が約3倍、定速(26.9%)が約 $\frac{1}{2}$ で著しく異なる。また、米国の7モードサイクル(アイドル14.6%、加速31.4%、定速21.9%、減速32.1%)とくらべると、アイドルが約2倍、減速は約 $\frac{1}{2}$ で、定速は約5%大きく、加速が約5%小さい。わが国では交差点間隔や交通信号間隔が米国より非常に短かく、道路巾も狭

く、走行ー停止ー発進の回数が多く、アイドルの割合が非常に大きいと考えられる。実験区域での交差点間隔(平均約700m)が短かいために発進は急加速で、つぎの停止点の直前でフットブレーキにより急減速して停止する走行様式を示す。このような傾向はわが国の都市走行でのもっとも一般的な様式であり、米国にくらべて減速の時間比が小さく、加速の時間比が大きいと考えられる。わが国の4モードサイクルは減速時間比がきわめて小さく、この極端な場合を示す。しかし、定速が走行時間の半ばを占めており、本測定の結果と著しく異なる。また、米国では30mph(48km/h)までの加速、50mph(80km/h)からの減速、および15~30mph(24~48km/h)の定速と非常に高速度条件が規定され、ロスアンゼルスでの平均走行距離が7.6マイル/回(12.2km)、平均走行時間が20分で、³²⁾ 平均速度は約36km/hとなる。全米規則³⁶⁾では都市の平均走行時間は17分とされ、平均速度32mph(51.2km/h)でのロードテストコースも示されている。本測定での平均速度は20.8km/hと著しく低く、40km/hをこえる加速や40km/h

以上の高速からの減速はきわめて少なく、走行パターンが米国とは大きく異なる。船舶研究所案では東京都内の平均値による速度条件として、加速度 ($0.1 g = 0.35 \text{ Km/h/sec}$)、減速度 ($0.06 g = 2.1 \text{ Km/h/sec}$)、定速時の変動 $\pm 2 \text{ Km/h}$ が示されている。

6-2 速度条件の相対頻度、相対時間比および平均継続時間

全走行から、アイドルからはじまってつぎのアイドルが現れるまでの走行サイクル数は合計 248 サイクルがえられた。1 サイクルあたりの所要時間は 4.3 ~ 228.0 秒で、平均は 59.2 秒を示す。各モードについて速度条件を細かく分類し、それぞれの継続時間および出現度数を測定した。定速では 5 Km/h 、 10 Km/h 、 20 Km/h 、 30 Km/h 、 40 Km/h 、 50 Km/h 、 60 Km/h に分け、加速および減速は初期速度 (0 Km/h 、 5 Km/h 、 10 Km/h 、 20 Km/h 、 30 Km/h 、 40 Km/h 、 50 Km/h 、 60 Km/h) から一定の終末速度 (0 、 5 、 10 、 20 、 30 、 40 、 50 、 60 Km/h) に至る間で、速度の増加傾向を加速、低下傾向を減速とした。アイドルは速度 0 Km/h (停止) である。

6-2-1 速度条件の相対頻度

実験走行での合計 248 個の走行サイクルは 248 回のアイドル、381 回の加速、359 回の減速、308 回の定速からなる。加速、定速および減速の各速度条件の出現度数が、それぞれのモードの全度数にたいして占める割合、すなわち速度条件の相対出現頻度は

表 5-13 走行モードの相対頻度 %
(京都中心部)

		終 端 速 度 km/h							
		0	5	10	20	30	40	50	60
加 速 頻 度 %	0	42	12.1	12.3	13.1	17.3	6.0		
	5	4.2	23	0.5	3.4	1.6	2.4		
	10	10.3	1.1	9.4	1.6	2.4	3.1		
	20	10.3	2.2	1.9	15.9	4.5	6.0	1.8	
	30	14.5	1.1	1.9	4.7	26.3	3.7	1.8	0.3
	40	22.0	1.1	3.3	5.6	3.6	36.0	1.6	0.3
	50	7.2	0.3		1.1	1.7	0.8	9.7	
	60	0.6					0.3		0.3

太線枠内は定速
太線枠外は加速
・ 下は減速

表 5-13 に示す。加速では 0 Km/h から 40 Km/h への

加速が最大頻度 (17.3%)

を示す。 0 Km/h から 10 Km/h 、 20 Km/h および 30 Km/h

への加速条件の頻度 (12.1

~ 13.1%) は大差がない。加

速では停止 (0 Km/h) から

加速条件 (発進加速) が全加

速度数 (65.0%) の過半を

占める。走行途中での加速で

は 20 Km/h からの加速の頻

度 (12.3%) が最大である。

また、終末速度を 40 Km/h

とする加速が全加速度数の 32.7% を占め、終末速度 30 Km/h の加速 (21.6%) がこれにつぐ。定速では、 40 Km/h 定速 (36.0%) が最大の頻度を示し、 30 Km/h 定速 (26.3%) がこれにつぐ。減速では、 40 Km/h から 0 Km/h (停止) までの減速 (22.0%) が最大頻度を示し、 30 Km/h から 0 Km/h (停止) への減速 (14.5%) がついで大きい。終末速度が 0 Km/h (停止) でない減速条件では、 40 Km/h から 20 Km/h 、または 30 Km/h への減速の頻度がやや大である。また、 40 Km/h からの減速頻度 (35.6%) が最大で、 30 Km/h からの減速 (22.2%) がこれにつぐ。減速の終末速度が 0 Km/h 、すなわち走行停止で終る減速は全減速度数の 69.1% を占める。走行停止 (0 Km/h) への減速は、走行サイクルの最終モードとして必ず現れるから相対頻度が大きいのは当然である。

以上のことから、京都中心部での自動車の走行には 0 Km/h (停止) から 40 Km/h 、または 30 Km/h への発進加速、 30 Km/h 、または 40 Km/h の定速、 40 Km/h から停止に至る減速がもっとも多く現れる。

6-2-2 速度条件の相対時間比

実験路線の走行時間の合計（4

時間4分2.6秒）から、アイドル、

加速、定速および減速に要した時

間の占める割合は走行モードの時

間比として前に示した。そこで、

各速度条件の時間がそれぞれのモ
ードの時間にたいして占める割合

すなわち相対時間比を求め表5-

14に示す。停止から40Km/h

への加速に費やした時間が全加速

時間の最大（25.6%）を占め、

0Km/hから30Km/hへの加速

時間（15.5%）がついで大きい。

停止からの加速時間が全加速時間の

63.7%と過半を占め、20Km/h

からの加速時間（12.5%）がこ

れにつぐ。終末速度については

40Km/hまでの加速時間（42.7

%）がもっとも大きく、30Km/hで終る加速時間（23.3%）がついで大きい。定速では、40Km/h定速が全定速時

間の49.2%とほぼ半分を占め、30Km/h定速時間（25.6%）がこれにつぐ。減速では、40Km/hから0Km/hへの

減速時間（25.7%）が最大割合を示し、30Km/hおよび50Km/hから0Km/hへの減速時間がこれにつぐ。40

Km/hからの減速時間は全減速時間（40.5%）のもっとも大きい割合を占め、30Km/hからの減速時間（21.6%）

がこれにつぐ。終末速度については、0Km/h（停止）までの減速時間が全体の過半（68.4%）を占め、20Km/hで

終る減速（11.9%）がついで大きい。

以上のことから、加速、定速および減速の各モードの所要時間にたいして、加速では0Km/hから40Km/hへの加速、

定速では40Km/h、減速で40Km/hから0Km/hへの減速の各条件がもっとも大きい時間を占め、各速度条件の相対

頻度と最大の比率を示す速度条件は全く同じである。しかし、加速では終末速度、減速では初期速度が大きい速度条件の

所要時間が増大することは当然で、相対出現頻度の傾向とは若干異なる。

6-2-3 速度条件の継続時間

各速度条件の継続時間の最大、最小および平均値を表5-15に示す。アイドルの平均継続時間は18.0秒を示した。

加速では40Km/hから60Km/hへの加速時間がもっとも大きく、加速終末速度が大きくなるにつれて継続時間が長く

なり、0Km/hから40Km/hへの加速条件の平均時間が14.7秒を示した。定速では40Km/h定速が平均17.5秒と

最大を示す。減速では加速と同様に初期速度の大きい速度条件からの減速の継続時間が大きくなるのは当然で、60Km/h

から0Km/h（停止）への減速の平均時間（20.6秒）が最大である。40Km/hから0Km/hへの減速の平均時間は

8.1秒である。

表5-14 走行モードの相対時間比 %

（京都中心部）

	km/h									
	0	5	10	20	30	40	50	60		
0		0.7	3.5	6.2	15.5	25.6	12.1			
5	16	0.6	0.2	1.9	2.0	3.6				
10	6.1	0.4	4.4	0.8	2.6	3.3				
20	6.8	1.8	1.6	9.2	3.2	6.3	3.0			
30	14.5	1.0	2.1	4.0	25.6	3.8	2.5	0.5		
40	25.7	1.8	3.6	6.5	3.0	49.2	1.8	0.7		
50	12.1	0.7		1.4	2.2	1.0	10.9			
60	1.7					0.4		0.1		

本路線内では加速
が減速より多い
下は減速

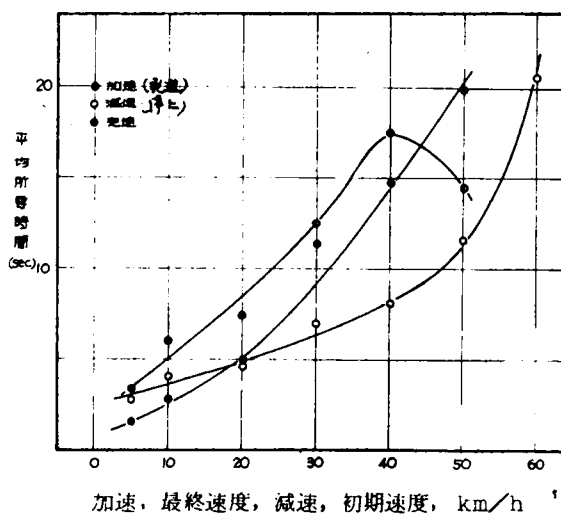
表5-15 走行モードの継続時間 sec
(京都中心部)

走行モード	0	5	10	20	30	40	50	60
0	18.0 (57.6-0.6)	1.6 (3.0-0.3)	2.9 (8.8-0.6)	5.0 (15.0-1.7)	11.7 (20.4-5.5)	14.7 (30.1-7.2)	19.9 (32.5-11.4)	
5	2.7 (5.7-1.0)	3.3 (6.5-1.1)	3.7 (4.0-3.4)	5.6 (11.6-2.6)	12.9 (17.6-10.3)	15.1 (25.3-9.1)		
10	4.1 (11.1-6.7)	2.8 (3.4-1.7)	6.0 (20.0-1.3)	5.2 (8.0-2.4)	11.1 (17.5-8.0)	10.5 (19.0-7.2)		
20	4.6 (9.8-1.7)	3.8 (8.8-2.5)	5.7 (8.8-3.3)	7.4 (27.7-1.6)	7.1 (12.8-3.8)	10.3 (18.1-5.8)	16.1 (27.2-9.8)	
30	6.9 (16.4-2.4)	6.2 (12.1-0.8)	7.7 (21.6-2.8)	5.8 (14.5-1.0)	12.5 (30.3-1.9)	10.3 (21.4-3.6)	13.8 (17.6-11.2)	18.3 (—)
40	8.1 (20.5-2.4)	11.4 (17.2-7.5)	7.5 (12.8-3.3)	8.1 (14.0-3.9)	5.7 (8.9-2.7)	17.5 (35.5-1.7)	11.5 (14.6-9.5)	27.6 (—)
50	11.6 (25.9-4.1)	18.1 (—)		8.9 (11.0-6.5)	8.8 (10.7-5.7)	8.3 (11.0-6.8)	14.4 (19.5-1.2)	
60	20.6 (29.0-6.5)					9.7 (—)		

()内は最大-最小値

太線枠内は定速
太線枠より上は加速
太線枠より下は減速
0-0はアイドル

図5-11 加速、減速の平均所要時間(京都中心部)

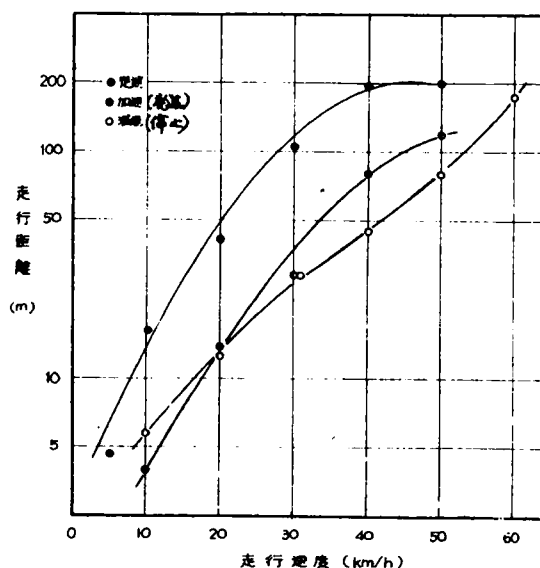


初期速度 0 km/h (停止) から 5 ~ 50 km/h の終末速度までの加速の平均時間と速度条件の関係は図5-11のとおりである。図には初期速度 5 ~ 60 km/h から 0 km/h (停止) までの減速, ならびに定速条件についても示す。加速では終末速度が大きくなるにつれて所要時間も増加し, 終末速度 20 ~ 50 km/h での増加はほぼ直線的である。減速では初期速度 5 ~ 40 km/h ではほぼ直線的な増加を示し, 初期速度 50 km/h ~ 60 km/h では停止までの所要時間が急増する。5 ~ 40 km/h 定速では車速とともに継続時間も増し, 40 km/h で最大 (15.5 秒) となるが, 50 km/h 定速 (14.4 秒) ではやや減少する。

6-2-4 平均走行距離

加速、減速および定速について車速と平均継続時間から、走行距離と速度条件の関係は図5-12に示す。発進加速、および停止に至る減速での平均走行距離は、加速では終末速度、減速では初期速度とともに大きく増加し、速度が等しい加減速では距離に大差がない。定速では車速40km/hと50km/hでの走行距離がほとんど同じである。実験路線での交差点間隔は平均700mで、交差点から発進して車速が40km/hに達するまでには平均80mの距離を走行し、40km/hで平均200m走行する。このためより高速の定速に移ったときには、つぎの交差点（もしくは停止点）の近くに達していることになり、急減速に停止するという走行様式となる。それゆえ、高速での走行の継続時間、および走行距離にある限度が生じ、本測定での高速度（50km/h、60km/h）走行による限度は約200mである。

図5-12 定速時の平均走行距離（京都中心部）



加速：終末速度，減速：初期速度

6-3 走行サイクルのモード数についての解析

各路線のトリップチャートから連続した二つのモードの組合わせ数を測定した。すなわち、全走行記録に現れた連続した走行モードの組合わせ数の合計は1,296で、その内訳は表5-16に示す。加速のつぎに定速の現れる場合が最大の頻度（20.4%）を示す。アイドルのつぎに加速および減速のつぎにアイドルの場合は定義（第5節）から、走行サイクル数と等しい。

ここで、アイドルを状態 E_1 、加速を状態 E_2 、定速を状態 E_3 、減速を状態 E_4 とする。 E_i 状態のつぎに E_j 状態が現れる確率 P_{ij} は表5-17のとおりとなる。本研究では速度勾配のやや異なった同じモードの連続は一つの走行モードと定義した。また、アイドルのつぎに定速、または減速となること、ならびに加速のつぎにアイドルが現れることは実際の走行には起こりえず、これらの確率は零である。また、アイドルのつぎには必ず加速のみが起こるからこの組合わせの起こる確率は1である。

表5-16 連続したモードの出現頻度（京都中心部）

モードの組合わせ	度数	%
加速 - 定速	265	20.4
加速 - 減速	116	9.0
定速 - 加速	65	5.0
定速 - 減速	243	18.8
減速 - 加速	68	5.3
減速 - 減速	43	3.3
減速 - アイドル	248	19.1
アイドル - 加速	248	19.1
合計	1296	100.0

表5-17 状態 E_i 、 E_j の起る確率

組合わせ	P_{ij}	組合わせ	P_{ij}
アイドル アイドル	$P_{11}=0$	定速 アイドル	$P_{31}=0$
アイドル 加速	$P_{12}=1$	定速 加速	$P_{32}=0.211$
アイドル 定速	$P_{13}=0$	定速 定速	$P_{33}=0$
アイドル 減速	$P_{14}=0$	定速 減速	$P_{34}=0.789$
加速 アイドル	$P_{21}=0$	減速 アイドル	$P_{41}=0.691$
加速 加速	$P_{22}=0$	減速 加速	$P_{42}=0.189$
加速 定速	$P_{23}=0.696$	減速 定速	$P_{43}=0.120$
加速 減速	$P_{24}=0.304$	減速 減速	$P_{44}=0$

ここで、確率 P_{ij} が全走行期間中は一定であるとする、遷移確率行列、 P 、はつぎのような確率空間で示される。

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.696 & 0.304 \\ 0 & 0.211 & 0 & 0.789 \\ 0.691 & 0.189 & 0.120 & 0 \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (5-13)$$

これを前述（第5節）の式5-2から式5-5に代入して求めた S , x , y の結果はつぎのとおりである。

$r=1$ $S_1 = 1$ のときは

$$\begin{array}{ll} x_1^{(1)} = 1 & y_1^{(1)} = 0.691 \\ x_2^{(1)} = 1 & y_2^{(1)} = 1.061 \\ x_3^{(1)} = 1 & y_3^{(1)} = 0.859 \\ x_4^{(1)} = 1 & y_4^{(1)} = 1 \end{array}$$

$r=2$ $S_2 = -1.345$ のときは

$$\begin{array}{ll} x_1^{(2)} = -1.070 & y_1^{(2)} = -0.929 \\ x_2^{(2)} = 0.800 & y_2^{(2)} = 1.418 \\ x_3^{(2)} = -1.287 & y_3^{(2)} = -1.489 \\ x_4^{(2)} = 1 & y_4^{(2)} = 1 \end{array}$$

$r=3$ $S_3 = -0.251 + 1.377i$ のときは

$$\begin{array}{ll} x_1^{(3)} = 0.077 - 1.189i & y_1^{(3)} = -0.173 + 0.952i \\ x_2^{(3)} = -0.846 + 0.098i & y_2^{(3)} = -1.080 - 0.099i \\ x_3^{(3)} = -0.182 + 0.836i & y_3^{(3)} = 0.254 - 0.853i \\ x_4^{(3)} = 1 & y_4^{(3)} = 1 \end{array}$$

$r=4$ $S_4 = -0.251 - 1.377i$ のときは

$$\begin{array}{ll} x_1^{(4)} = 0.077 + 1.189i & y_1^{(4)} = -0.173 - 0.952i \\ x_2^{(4)} = -0.846 - 0.098i & y_2^{(4)} = -1.080 + 0.099i \\ x_3^{(4)} = -0.182 - 0.836i & y_3^{(4)} = 0.254 + 0.853i \\ x_4^{(4)} = 1 & y_4^{(4)} = 1 \end{array}$$

式5-5から

$$Cr = \frac{1}{\sum_{\nu=1}^4 x_{\nu}^{(r)} y_{\nu}^{(r)}} \quad \dots\dots\dots (5-14)$$

となり、上記の x , y から求めた C はつぎのとおりである。

$$\begin{array}{ll} r=1 & C_1 = 0.277 \\ r=2 & C_2 = 0.198 \\ r=3 & C_3 = 0.262 - 0.044i \\ r=4 & C_4 = 0.262 + 0.044i \end{array}$$

アイドルから n ステップ目でアイドルにもどる確率、 $P_{11}^{(n)}$ は式5-6から

$$P_{11}^{(n)} = C_1 x_1^{(1)} y_1^{(1)} S_1^{-n} + C_2 x_1^{(2)} y_1^{(2)} S_2^{-n} + C_3 x_1^{(3)} y_1^{(3)} S_3^{-n} + C_4 x_1^{(4)} y_1^{(4)} S_4^{-n} \dots (5-15)$$

となり、 x , y , C , S を代入すると

$$P_{11}^{(n)} = 0.191 + 0.197 (-1.345)^{-n} + \frac{0.306 + 0.024i}{(-0.251 + 1.377i)^n} + \frac{0.306 - 0.024i}{(-0.251 - 1.377i)^n} \dots\dots\dots (5-16)$$

で、 $P_{11}^{(n)}$ を $n=1$ から $n=16$ まで逐次計算によって式 5-16 から求めた結果は表 5-18 に示す。

また、アイドルからはじまって、 n ステップ目にはじめてアイドルが現れる確率、すなわち再帰時間確率 $f_{11}^{(n)}$ は式 5-18 から、

$$f_{11}^{(n)} = P_{11}^{(n)} - \sum_{\nu=1}^{n-1} f_{11}^{(\nu)} P_{11}^{(n-\nu)} \quad (5-17)$$

となり、 $P_{11}^{(n)}$ を用いて逐次計算により $n=1$ から $n=5$ までを求めた結果は表 5-22 に示す。

式 5-10 から $f_{jj}^{(n)}$ の理論平均再帰時間 μ_j は

$$P_{jj}^{(n)} \rightarrow \frac{1}{\mu_j} \quad (5-18)$$

であるから $\mu_1 = 5.23$ となる。

また、式 5-12 から μ_1 の分散は

$$\sigma_1^2 = 6.46 \quad (\sigma_1 = 2.54)$$

である。

京都市中心部の走行実験にもとづく計算結果からつぎのように結論できる。アイドルからはじまって、 n ステップ（モード）目にはじめてアイドルとなる確率 $f_{11}^{(n)}$

図 5-13 $p_{11}^{(n)}, f_{11}^{(n)}$ の分布（京都中心部）

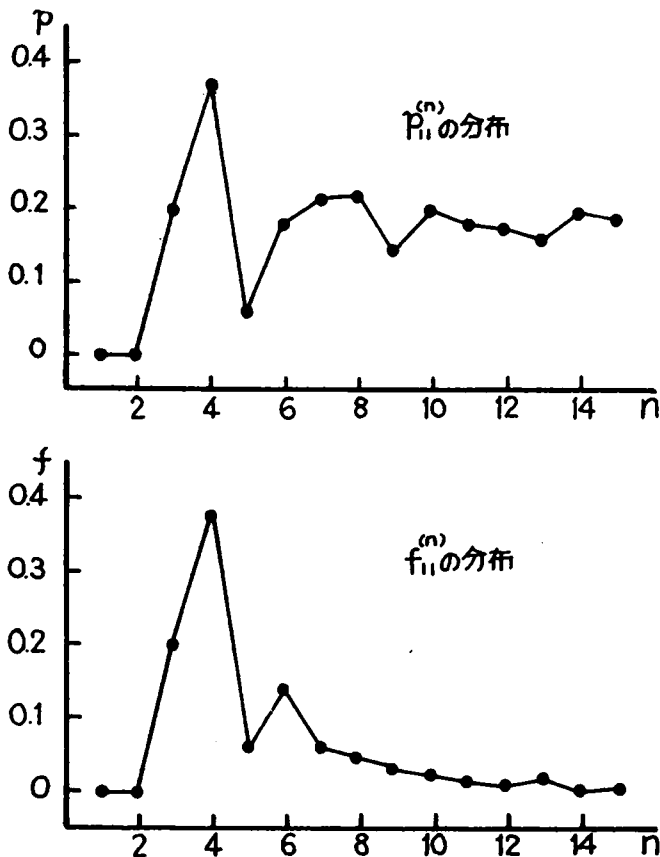


表 5-18

$P_{jj}^{(n)}$ および $f_{jj}^{(n)}$
(京都中心部)
($j=1$)

n	$P_{11}^{(n)}$	$f_{11}^{(n)}$
1	0	0
2	0	0
3	0.210	0.210
4	0.379	0.379
5	0.062	0.063
6	0.181	0.137
7	0.221	0.061
8	0.218	0.048
9	0.148	0.034
10	0.205	0.021
11	0.198	0.015
12	0.192	0.010
13	0.181	0.007
14	0.199	0.005
15	0.191	0.003
∞	0.191	0

について、 $n=1$ から ∞ までのそれぞれの確率を加重して平均した n の期待値 μ_1 が 5.23 で、走行サイクルのもっとも典型的なモード数は 5.23 モードである。

6-4 合理的走行サイクルの選定

走行モードの再帰確率分布 $\{P_{11}^{(n)}\}$ 、ならびに、再帰時間確率分布 $\{f_{11}^{(n)}\}$ を n について 1 から 15 までをプロットすると図 5-13 のとおりである。アイドルからはじまって、 n ステップ目にはじめてアイドルの現れる確率の最大値は $n=4$ で与えられ、その確率は 0.379 である。しかし、この場合には最大の確率を示す 4 ステップ以外のステップ（モード）については全く考慮されていないことになる。 n を 1 から ∞ までについて、それぞれの n に対応する確率をウェイトにして平均した。平均再帰時間 μ_1 は 5.23 で（標準偏差 2.54）で、実際の走行サイクルのモード数は μ_1 値にもっとも近い

整数の5もしくは6を用いるのが妥当である。

また、実測での走行サイクル(248)の構成モード数の度数分布(百分率)は図5-14のとおりで、理論再帰時間確率分布 $\{f_{11}(n)\}$ (図5-13)と全く同様の傾向を示す。全走行での交差点通過数は154回(右折27回、左折25回)で、右折の場合には対向車線の直進車を妨げないように徐々に方向転換す

るため、速度範囲5km/h以下のアイドル-加速-減速-アイドルの3モードおよびアイドル-加速-定速-減速-アイドルの4モードサイクルが短時間に多く現れ、左折の場合にも同様である。このために、全走行サイクル数にたいして3モード(23.5%)および4モードサイクル(35.5%)の出現割合が大きく、再帰時間確率の最大値が $n=4$ となった。しかし、実際の走行では、3または4モード以外の走行サイクルの現れることもかなり多く、本測定でもほぼ半数近くの割合を示す。それゆえ、3モードや4モード以外のモード数の起こる確率(41.0%)をも考慮した平均再帰時間にもとづくモード数の決定がより合理的である。

図5-14 実測再帰時間分布(京都中心部)

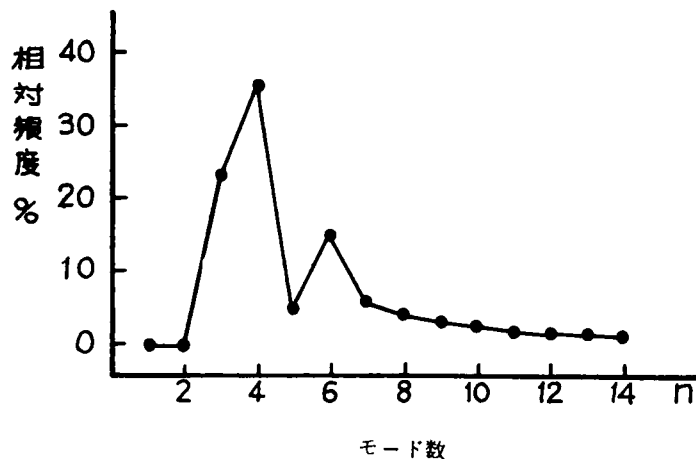
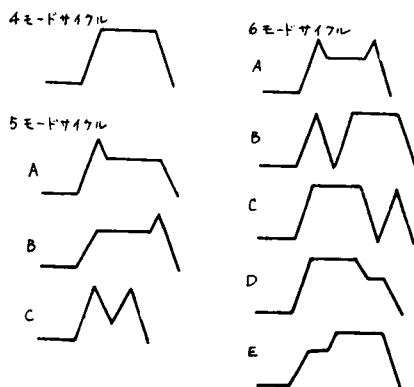


図5-15 走行サイクルの基本的パターン



再帰時間確率の最大を示す n 、および平均再帰時間から考えられるモード数は4、

5、6である。それぞれについての基本的パターンは図5-15に示す。4モードサイクルで1種、5モードサイクルには3種、6モードサイクルについては5種が挙げられ、実際の走行状態をもっともよく代表する走行サイクルを選定するために各基本型に実測の速度条件をあてはめて可能な組み合わせを作製した。さらに、実測での速度条件の出現頻度と相対時間比をウェイトとした採点法により、もっとも妥当と考えられるサイクルを決定した。すなわち、実測での相対頻度が最大の速度条件を1点として順次に得点(加速; 1~15点、定速; 1~7点、減速; 1~16点)を与えた。相対時間比についても同様に、最大時間比を示す条件を1点として順次に得点(加速;

1~19点、定速; 1~7点、減速 1~18点)を与えた。このような採点法による各モードの速度条件の評価は表5-19に示す。さらに、各速度条件の持続時間には実測の平均継続時間をあてはめ、合計得点のもっとも少ないものを各基本型の代表的走行パターンとした。4モードサイクルはアイドル、加速、定速および減速の4つのモードからなるサイクルで、アイドル時間は実測値(18.0秒)とし、加速は相対頻度および相対時間比がもっとも大きい(得点がともに1点)

表5-19 得点順位表

相対頻度順位/時間比率順位

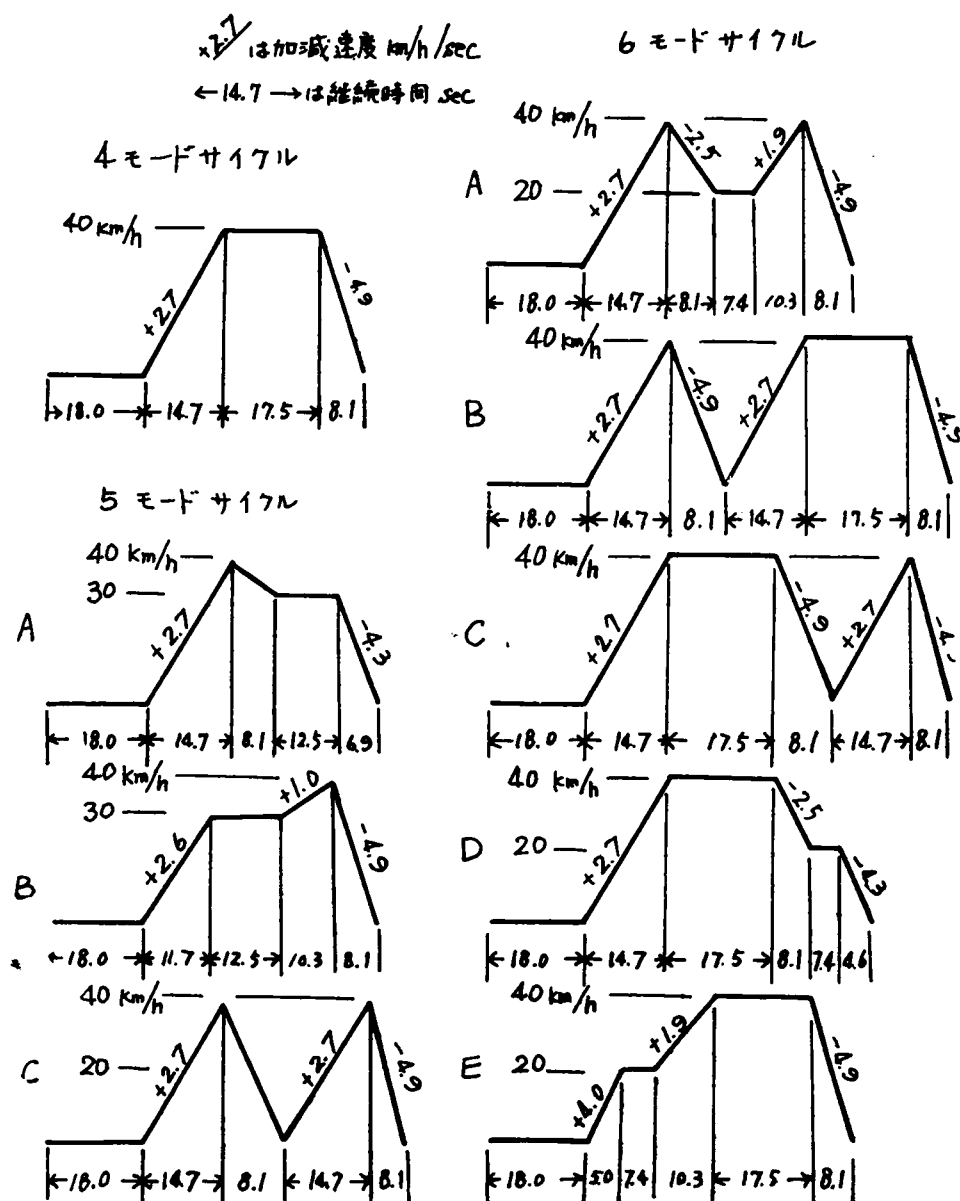
初期速度	終末速度	0km/h	5	10	20	30	40	50	60
0 km/h			7 17	4 8	3 5	2 2	1 1	5 3	
5		7 14	6 6	14 20	9 17	13 17	11 7		
10		3 6	13 18	5 5	13 16	11 12	10 9		
20		3 4	10 12	11 14	3 4	6 10	5 4	12 11	
30		2 2	13 16	11 11	6 7	2 2	8 6	12 13	15 19
40		1 1	13 12	9 18	5 5	8 9	1 1	13 15	15 18
50		4 3	16 17		13 15	12 10	14 16	4 3	
60		15 13					16 18		7 7

太線枠内は定速

太線枠より上は加速

太線枠より下は減速

図5-16 最適走行サイクル(京都中心部)



0Km/hから40Km/hへの加速(17.5秒)、定速は頻度、時間比が1点の40Km/h定速(17.5秒)、減速も頻度、時間比が1点の40Km/hから0Km/hへの減速(8.1秒)としたサイクルが最小点を示し、もっとも妥当なパターンである。この合成4モードサイクルの所要時間は58.3秒で、実測のサイクル平均時間(59.1秒)にきわめて近く、船舶技研案(71秒)とは大きく異なる。5モードサイクルの場合には合計108通り(図5-15、A型41、B型15、C型79)の走行サイクルが可能である。相対頻度および相対時間比にもとづく評価点を与えると、各基本型での最小得点数はA型10点、B型24点、C型6点を示した。

6モードサイクルでの可能な組合わせ数は基本型のA型46通り(30)、B型82通り(10)、C型82通り(10)、D型14通り(28)、E型15通り(28)が考えられ、()内は採点法による評価での最小値である。

各基本型で評価点のもっとも低いサイクルのみを選び、実測の継続時間をあてはめると、図5-16に示す合成走行サイクル9種がえられ、それぞれの所要時間ならびに走行モードの時間分布は表5-20に示す。

表5-20

走行サイクルの時間比(京都中心部)

サ イ ク ル	サイクルの 所要時間 (sec)	時 間 比 (%)			
		アイドル	加 速	定 速	減 速
合成4モードサイクル	58.3	30.9	25.2	30.0	13.9
合成5モードサイクル A B C	60.2	29.9	24.4	20.8	24.9
	70.6	28.3	34.6	19.7	12.7
	63.6	28.3	46.2	0	25.5
合成6モードサイクル A B C D E	58.5	30.8	42.7	12.6	13.8
	81.1	22.2	36.3	21.6	20.0
	81.1	22.2	36.3	21.6	20.0
	70.6	25.5	21.0	35.3	18.0
	66.3	27.1	23.1	37.6	12.2
実 測 平 均	59.1	30.3	25.8	26.9	17.0

4モードサイクルは所要時間(58.3秒)、モードの時間比とも実測値に非常に近い。5モードサイクルでは所要時間(60.2~70.6秒)がやや増加し、モードの時間比はアイドル(28.3~29.9%)が3基本型とも実測値(30.3%)にやや近い。加速はA型(24.4%)が実測(25.8%)にやや近いが、他は(34.6~46.2%)かなり大きく、定速(0~20.8%)は実測(26.9%)とかなり異なる。評価点のもっとも小さいサイクルを選んだから5モードC型は定

速条件が含まれない。減速はB型(12.7%)がやや実測(17.0%)に近く、他はかなり大きい。

6モードサイクルでは、A型の所要時間(58.3秒)が実測平均に近く、他はかなり大きい。走行時間比は、アイドルでA型(30.8%)が実測平均と同程度で、ほかはかなり小さい。加速ではD、E型(21.0~23.1%)が実測値にやや近く、他の型はかなり小さい。定速ではB、C型(21.6%)が実測よりやや低く、他は大きく異なる。減速ではD型(18.0%)が実測に近く、B、C型(20.0%)はやや大きく、他はかなり小さい。6モードサイクルのなかで、B型およびC型は全く同一の速度条件のみで形成され、速度条件の出現順序が異なるだけで、所要時間はもちろんモードの時間比も同一である。

以上の合成サイクルのなかで、4モードサイクルは実測でもっとも多く出現した速度条件のみであるから、サイクル時間およびモードの時間比が実測平均にきわめて近いのは当然である。市内走行で最大確率(35.5%)で現れるモード数という点からみれば、この4モードサイクルによる排気ガス評価も有効であるが、船舶技研案のパターンとは大きく異なる。また、本測定では4モード以外のサイクルが現れる確率が41.0%とかなり大きく、代表的サイクルの選定のうえでこれを無視することはできない。

さらに、本測定では3モードサイクルの出現頻度もかなり大きく、交差点でのきわめて低速度の徐行-停止が影響している。近年わが国の都市交通を円滑にするための手段として、都心部交差点での右折禁止が強化、拡大されており、右折による3モードサイクルの頻度は減少するものと考えられる。しかし、交通過密化により車間距離が著しく短縮される結果、このようなモード数の少ないサイクルの出現が増加することも予想される。これらのことから、自動車の都市走行で現れる全てのモード数の出現確率を考慮して、代表的サイクルのモード数を選定するのがより合理的で、平均再帰時間にもとづく5モード、または6モードサイクルがもっとも妥当な平均的走行パターンであると期待される。

5モードサイクルは実測で出現頻度ならびに時間比が最大値を示した速度条件、(0Km/hから40Km/hへの加速、

40km/h定速、40km/hから0km/hへの減速)のいずれかが含まれておらず、C型は定速条件がない。このような理由から、5モードサイクルは、実際の走行パターンの典型として適当ではなく、同様のことは6モードサイクルのA、DおよびE型についてもみとめられ、6モードサイクルB型とC型が実験区域での平均走行様式の典型としてもっとも適当と考えられる。6モードサイクルのB型およびC型の走行サイクルは出現順序の異なる全く同じ速度条件から形成されており、サイクル所要時間、モードの時間比ともに全く等しく、排気ガス評価の上からも同一視できる。また、これらのサイクルは実測で出現頻度および時間比がもっとも大きい値を示した速度条件のみから形成されているうえに、4モードサイクルのパターンをも包含している。

自動車の排気の評価には、各速度条件の排出量がサイクル全体での排出量にたいして占める割合、すなわち加重係数(評価係数)の決定がいま一つの重要な因子となるが、これについては後述する。

6-5 総括

本節では、京都市の中心部で比較的交通量の大きい区域の交差点(20)の交通流特性から30とおりの路線を選定して、実験車を走行させた。各路線の走行記録(トリップチャート)から各速度条件の出現頻度、時間比、継続時間を測定した。また、連続した走行モードの組合わせの成績に単純マルコフ連鎖理論を適用して、実験区域において確率的にもっとも期待される走行サイクルのモード数を求めた。さらに、各速度条件の出現頻度および時間比の大きいものから順次に得点を与える採点法で、最小点の合成サイクルをもっとも妥当なものとして選定した。本節の結果を要約するとつぎのとおりである。

1. 実験区域の20交差点での交通流特性(直進63%, 右折19%, 左折18%)から、30とおりの実験路線を選定した。路線の長さは0.6~11.8km(平均3.1km)、走行所要時間は20.5秒~36分39.2秒(平均8分7.2秒)、走行速度は11.9~44.1km/h(平均20.8km/h)を示し、交差点通過回数は合計154回(直進102回、右折27回、左折25回)である。

全走行から、走行モードの時間比はアイドル30.3%, 加速25.8%, 定速26.9%, 減速17.0%を示し、わが国の4モードサイクルとは大きく異なる。

2. 全走行で合計248の走行サイクル(アイドル248回、加速381回、定速308回、減速359回)が記録され、サイクル継続時間は59.1秒を示した。

3. 各速度条件の出現頻度の測定から、加速では0km/hから40km/hへの加速が最大頻度(17.3%)を示し、定速では40km/h定速が最大頻度(36.0%)を示し、減速では40km/hから0km/hへの減速の頻度(22.0%)がもっとも大きい。

4. 各速度条件の相対時間比の測定から、加速では0km/hから40km/hへの加速の時間比(25.7%), 定速では40km/h定速の時間比(49.2%), 減速では40km/hから0km/hへの減速の時間比(25.6%)が、それぞれもっとも大きい割合を示した。

5. 実測ではアイドル時間が18.0秒で、加速では初期速度が大きくなるにつれて加速時間が増大し、0km/hから40km/hへの加速時間は14.7秒を示した。定速では40km/h定速の時間(17.5秒)がもっとも大きい。減速では初期速度が大きいほど減速時間も大きく、40km/hから0km/hへの減速時間は8.1秒を示した。

6. トリップチャートから合計1,296個の連続した走行モードの組合わせが得られ、加速のつぎに定速の現れる頻度(20.4%)、定速のつぎに減速の現れる頻度(18.8%)がかなり大きく、他の組合わせの頻度は9.0%以下である。このような各モードの現れる確率から、アイドルからはじめてnモード目にはじめてアイドルが現れる確率、すなわち、理論平均再帰時間確率 $\{f_{11}^{(n)}\}$ を求めた。その最大値(0.379)は $n=4$ で得られ、平均再帰時間は $\mu_1=5.23$ (標準偏差; 2.54)を示し、確率的に期待される走行サイクルのモード数が5.23と示された。

7. 再帰時間確率の最大値および平均値にもとづく4、5および6モードサイクルの基本型に、実測の速度条件をあてはめて走行サイクルを合成した。各速度条件の相対時間比と出現頻度の最大値を基準にした採点法で、合成サイクルに採

点を与え、最小得点のサイクルを代表的パターンとして選定した。4モードサイクル1種、5モードサイクル3種、6モードサイクル5種が得られ、各速度条件に実測継続時間をあてはめた。

8. 合成4モードサイクルは、実測で出現頻度と時間比が最大を示した速度条件のみから形成され、サイクル所要時間は58.3秒で、モードの時間比は実測平均にもっとも近い。

9. 合成5モードサイクルは、出現頻度と時間比が最大を示した速度条件のいずれかが含まれておらず、京都市内の平均的サイクルとしては適当でない。

10. 合成6モードサイクルの5種類の基本型（合計239の組合わせ）から採点法で最小点を示したB型とC型は、同じ速度条件（0Km/hから40Km/hへの加速、40Km/hでの定速、40Km/hから0Km/hへの減速、およびアイドル）から形成される。サイクル時間は81.1秒で、モードの時間比（アイドル22.2%、加速36.3%、定速21.6%、減速20.0%）も実測にかなり近い。そのうえ、実測での出現頻度と時間比が最大を示した条件で形成され、合成4モードサイクルのパターンをも包含しており、京都市の中心部における自動車の平均的走行パターンとしてもっとも妥当であると考えられる。

表5-21 京都市の外周部の走行成績

路線 番号	路 線		路線 延長 km	進行 方向	所要時間 分 秒	車速 km/h	走行時間比 %				
	通 り	区 間					74%	加速	定速	減速	
直 達 区 間	1	七条通り	大宮七条—西大路七条	1.6	東行 西行	4分15.1秒 6分3.0秒	22.6 15.9	12.8 55.8	39.9 23.0	26.4 5.7	20.9 15.5
	2	五条通り	大宮五条—西大路五条	1.8	東行	3分46.8秒	28.6	38.7	39.2	10.3	19.8
	3				西行	6分13.9秒	17.3	45.7	29.7	8.7	15.9
	4	今出川通り	銀閣寺—白梅町	4.6	東行 西行	13分30.4秒 12分40.0秒	25.3 21.0	19.5 26.0	24.4 31.2	34.4 22.8	21.6 19.9
	5	四条通り	大宮四条—西大路四条	1.8	東行	4分51.9秒	22.2	34.7	29.6	14.8	20.9
	6				西行	5分2.8秒	21.4	27.0	19.9	21.5	31.5
	7	烏丸通り	烏丸九条町—烏丸北大路	3.0	北行	6分19.9秒	28.4	17.2	28.1	33.2	21.5
	8				南行	6分11.9秒	29.0	19.0	30.9	29.4	20.7
	9	堀川通り	堀川九条町—堀川北大路	2.7	北行	5分30.9秒	29.4	15.0	33.5	32.0	19.5
	10				南行	5分27.6秒	29.7	20.0	23.9	41.0	15.1
	11	千本通り	千本九条町—千本北大路	2.6	北行	5分25.9秒	28.7	16.8	28.9	36.6	17.7
	12				南行	5分23.4秒	28.9	18.2	22.2	41.2	18.4
	13	河原町通り	河原町九条町—河原町北大路	3.0	北行	4分55.7秒	26.4	21.2	29.1	26.9	22.8
	14				南行	6分7.1秒	23.4	17.3	27.2	33.7	21.9
	15	平 均		2.7	—	6分29.1秒	25.3	24.6	28.3	26.8	20.3
	外 周 環 境	1	東山通り—九条通り—	22.0	左廻り	53分51.2秒	24.5	21.3	34.7	25.6	22.4
2		西大路通り—北大路通り	右廻り		56分52.1秒	23.2	25.1	27.7	26.9	20.4	
3			右廻り		50分6.3秒	26.3	20.3	24.3	38.4	18.0	
4			左廻り		54分26.4秒	24.4	23.0	27.0	29.0	21.0	
平 均		22.0	—	53.43.1秒	24.6	22.4	27.2	30.0	20.5		
全 平 均			—	—	—	25.2	24.3	28.5	26.9	20.3	

第7節 京都市の外周部における成績ならびに考察

7-1 実験区域

前節の実験区域（中心部）は旧市街地面積の約24%にしかすぎず、京都市における自動車の平均走行パターンを論じるうえで調査区域がやや狭い。そこで、本節では実験走行区域をほぼ旧市街全域に拡大した結果について述べる。実験区域は北大路通り、西大路通り、九条通り、東山通りで囲まれた面積約31km²で、市内面積の約51%を占める。この区域内には主要道路による交差点が約45か所であるが、中心部（前節）の20地点以外は交差点の交通流特性にたいする資料がない。このため、前節で対象とした区域の外周部の路線ならびに、この区域を東西、南北に貫通する主要道路の直進走行について検討した。実験路線、およびその延長の詳細は第4節、4-2に示した。

7-2 走行モードの時間比

京都市の外周部路線で、自然交通流にしたがった走行から測定した成績は表5-21に示す。表には東山通り、九条通り、西大路通り、北大路通りをつらねた循環路線と、これらの通りに囲まれた区域、すなわち、第6節の区域と外周街路との間を連絡する主要路線の成績を区別した。後者の路線長は1.6~3.0km（平均2.7km）で、中心部から外周部へ向う場合と、外周部から中心部に向う場合で、走行時間は3分46.8秒~13分30.4秒（平均6分29.1秒）で、平均車速は約17~30km/h（全平均25.3km/h）を示す。走行モードの時間比はアイドル約13~46%（平均24.6%）、加速約20~39%（平均28.3%）、定速約6~41%（平均26.8%）、減速約15~32%（平均20.3%）で、路線による相異が大きい。なかでも、七条通り（大宮七条-西大路七条）、五条通り（大宮五条-西大路五条）、ならびに四条通り（大宮四条-西大路四条）は国鉄山陰線と平面交差をしており、列車通過時の影響を受け（路線番号2、4）、アイドルの時間比が約46~56%と走行時間の半ばを占める。また、烏丸通り（烏丸丸太町-烏丸北大路）、堀川通り（堀川丸太町-堀川北大路）、千本通り（千本丸太町-千本北大路）および河原町通り（河原町丸太町-河原町北大路）での平均車速は約26~30km/hで他よりやや大きく、これらの路線は比較的交通量が少なく、交通信号の数も少ないためである。

旧市街の外周路をつらねた循環路線（22km）では、走行時間の平均が53分43.1秒で大きな変動がない。モードの時間比は定速の変動（約26~38%）がやや大きい、他のモードは大差がない。平均車速は約23~26km/h（全平均25.2km/h）で、前記の中心部と外周部とを結ぶ路線での平均値と大差がない。循環路線ではアイドルおよび加速の時間比がやや小さく、定速がやや大きい。外周部の全平均では車速25.2km/h、モードの時間比、アイドル25.2%、加速28.5%、定速26.9%、減速20.3%で、走行路線延長は131.3kmである。

前節の中心部での平均車速（20.8km/h）よりも、外周部が約5km/h高い。外周部は交通量が中心部よりやや少なく、自動車交通がよりスムーズであることを示す。外周部の時間比は中心部に比べてアイドルが約5%低く、減速は約3%高い。定速は全く同一で、加速は大差がない。外周部の交差点間隔の平均は1,264m（538~2,596m）で、中心部（平均700m）にくらべてかなり大きく、継続時間の長い加速および減速モードが増える。

7-3 速度条件の相対頻度、相対時間比および平均継続時間

外周部でのトリップチャートから走行サイクル224が得られ、その構成はアイドル224回、加速469回、定速423回、減速442回を示し、サイクルの平均時間は85.4秒（7.5~295.5秒）で、中心部（59.2秒）よりかなり大きい。

7-3-1 速度条件の相対頻度

加速、定速および減速モードについて、各速度条件の相対出現頻度は表5-22に示す。加速では0Km/hから40Km/hへの加速条件が最大の頻度（17.4%）を示し、30Km/hから40Km/hへの加速頻度（12.4%）がこれにつぐ。初期速度は、0Km/hからの加速度数が半ば（47.8%）を占め、終末速度では、40Km/hまでの加速度数が最大頻度（44.2%）を示す。

定速では40Km/h定速（47.7%）がほぼ半数を占め、30Km/h定速数（26.7%）がこれにつぐ。減速では40Km/hから0Km/hへの減速の頻度（24.6%）が最大で、40Km/hから30Km/hへの減速（12.9%）、および30Km/hから0Km/hへの減速（10.6%）がこれにつぐ。初期速度は、40Km/hからの減速が半数を占め、30Km/hおよび50Km/hからの減速の頻度（13.4~19.7%）はやや小さい。終末速度は、0Km/hで終る減速度数が半数（50.6%）を占め、20Km/hおよび30Km/hを終末速度とする減速（15.2~15.6%）もやや多い。

前節の中心部とくらべると、個々値は若干異なるが、各モードで最大頻度を示す速度条件は全く同様に、加速では0Km/hから40Km/hへの加速が最大で、その頻度もほぼ同様である。定速では、ともに40Km/h定速の出現度数がもっとも多いが、その相対頻度は中心部（36.0%）よりも外周部（47.7%）がかなり大である。減速では両者とも40Km/hから0Km/hへの減速度数がもっとも多く、相対頻度も大差はない。

7-3-2 速度条件の相対時間比

各速度条件の相対時間比は表5-23に示す。

加速では0Km/hから40Km/hへの時間比

（23.9%）が最大で、0Km/hから30Km/hへの加速、および30Km/hから40Km/hへの加速（11.0~11.2%）がこれにつぐ。定速では40Km/h定速の時間比

（60.7%）が最大で、ついで30Km/h定速（23.2%）が大きい。減速では、40Km/hから0Km/hへの減速の時間比（29.9%）が最大で、40Km/hから30Km/hへの減速、30Km/hから0Km/hへの減速条件の時間比（11.0~12.4%）がこれにつぐ。加速の初期速度は、0Km/hからの加速時間が全加速の半ば（50.2%）を占め、終末速度は、40Km/hで終る加速の時間比

（52.1%）が最大を示す。減速では、初期速度40Km/hからの減速が過半（57.1%）を占める。終末速度は、0Km/hで終る減速の時間比（52.7%）が最大を示す。

市の中心部とくらべると、最大の相対時間比を示す速度条件は全く同様であるが、個々の値はかなり異なる。加速では、

表5-22 外周部における速度条件の相対頻度

(%)

終末速度 Km/h 初期速度 Km/h	0	5	10	20	30	40	50
0		1.7	7.0	6.3	9.8	17.4	5.1
5	1.8	1.7	0.9	0.4	1.7	2.3	0.6
10	3.2	1.8	6.7	3.0	3.0	4.9	0.4
20	5.0	1.6	2.7	10.6	7.9	7.2	1.1
30	10.6	0.5	1.6	7.0	26.7	12.4	2.8
40	24.6	1.8	3.6	7.9	12.9	47.7	3.6
50	5.4	0.7	0.9	0.7	2.3	3.4	6.6

太線枠より上は加速、太線枠より下は減速 太枠内は定速

表5-23 外周部における速度条件の相対時間比

(%)

終末速度 Km/h 初期速度 Km/h	0	5	10	20	30	40	50
0		0.4	2.3	3.5	11.2	23.9	8.9
5	0.5	1.1	0.4	0.2	1.9	2.8	1.1
10	1.2	0.7	3.1	1.6	2.4	6.8	0.7
20	2.7	0.8	1.7	5.8	4.9	7.6	1.4
30	11.0	0.4	1.3	5.8	23.2	11.0	3.7
40	29.9	1.8	3.9	9.1	12.4	60.7	3.3
50	7.4	0.8	1.1	0.9	2.6	3.9	6.1

太線枠より上は加速、太線枠より下は減速 太枠内は定速

ともに 0Km/h から 40Km/h への加速の時間比が最大を示すが、中心部で 3.8 % を示した 30Km/h から 40Km/h への加速は外周部で 11.0 % とかなり大きい。定速では、40Km/h 定速時間がともに最大の時間比を示すが、市中心部（49.2 %）にくらべて外周部（60.7 %）はやや大きい。減速では 40Km/h から 0Km/h への減速がともに最大の時間比を示し、その値も大差はない。しかし、40Km/h から 30Km/h への減速条件の時間比は市中心部（3.0 %）よりも外周部（12.4 %）が著しく大きい。これらのことから、外周部の走行状態は中心部にくらべて、30Km/h の速度条件をもつ加速、および減速の出現頻度、消費時間がかなり大きいことがみとめられる。

7-3-3 速度条件の平均継続時間

各速度条件の継続時間は表 5-24 に示す。表にはアイドル、および継続時間の最大、最小ならびに平均値を示す。アイドルの平均時間は 19.8 秒（0.7 ~ 132.2 秒）である。

表 5-24 外周部における速度条件の継続時間

（継続時間 sec） 太枠内は定速
太線枠より上は加速
太線枠より下は減速

速度条件 km/h	0	5	10	20	30	40	50
0	0.7-132.2 19.8	1.8-3.6 2.6	1.0-12.1 3.7	2.4-13.8 5.8	6.4-23.4 13.0	8.5-27.2 15.6	8.5-34.0 19.6
5	0.5-4.0 2.4	2.2-17.9 8.5	3.1-9.0 4.7	3.9-4.9 4.4	7.8-19.0 12.3	8.9-22.1 13.2	17.2-22.3 19.3
10	1.0-6.6 3.3	2.2-5.2 3.4	1.5-13.4 6.1	3.4-13.6 5.9	4.5-15.7 9.0	9.0-23.1 15.5	18.2-19.5 18.9
20	1.8-9.1 4.7	2.1-7.6 4.6	1.8-9.8 5.4	1.9-21.0 7.1	1.9-14.4 7.0	4.8-19.4 11.8	12.0-16.2 14.9
30	3.9-17.1 9.1	4.2-10.0 7.1	4.9-10.7 7.4	1.7-20.5 7.4	2.1-47.9 11.3	4.8-22.8 10.0	10.8-29.2 15.0
40	2.7-21.4 10.8	5.8-11.8 8.8	3.8-19.4 9.5	3.3-22.3 10.1	1.9-18.7 8.5	2.7-9.1 16.5	7.8-15.3 10.1
50	7.8-19.7 12.1	8.0-14.9 10.6	8.7-12.5 10.7	8.5-12.7 11.3	4.8-16.1 10.3	4.8-19.8 10.0	2.1-31.7 11.9

上は範囲，下は平均

加速では、初期速度 0 ~ 10Km/h から 50Km/h への加速時間（18.9 ~ 19.6 秒）が最大で、0Km/h から 40Km/h への加速は 15.6 秒を示した。定速では、40Km/h 定速の時間（16.5 秒）がもっとも大である。減速では減速初期速度の大きい場合の継続時間が長く、減速の終末速度には大きな影響を受けない。すなわち、50Km/h からの減速は約 10 ~ 12 秒、40Km/h からの減速は約 8.5 ~ 11 秒、30Km/h からの減速で約 7 ~ 9 秒と順次に低下する。

外周部における継続時間は中心部とほとんど大差はなく、アイドル時間は中心部よりわずかに大きい。加速、減速およ

び定速のいずれも高速条件での継続時間の中（最大、最小中）が中心部に比べて大きく、外周部では高速における定速、高速への加速、高速からの減速に要する時間が多いことを示し、外周部の交差点間隔が中心部よりもかなり大きいと考えられる。

図5-17 平均走行距離（京都外周部）

7-3-4 走行距離数

発進加速ならびに停止に至る減速について、平均継続時間から走行距離数を求めた結果は図5-17に示す。図には定速についても示す。加速では終末速度、減速では初期速度が大きくなるにつれて、その間の走行距離数は大きく増加し、速度条件による距離数の増加傾向は5～30Km/hでは大差がなく、40～50Km/hでは加速がわずかに大である。定速では、40Km/hで最大値（183.3m）を示し、50Km/h定速は継続時間が小さくなるために走行距離は減少する。このような傾向は市の中心部と同様で、外周部でも自動車の高速による定速走行は約200mが限度とみられる。

7-4 走行サイクルのモード数の解析

外周部での連続したモードの組合わせは表5-25に示す。合計1,558個の組合わせが得られ、加速のつぎ

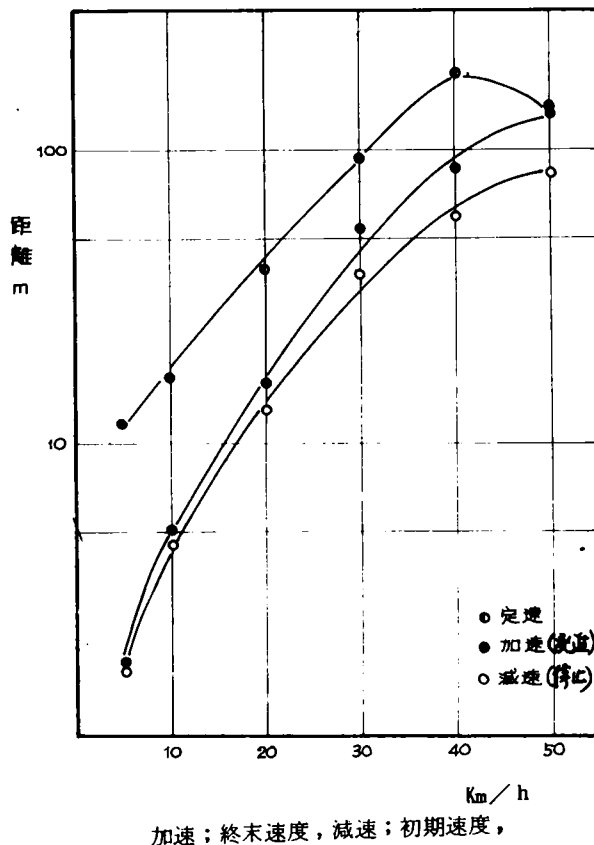


表5-25

連続した二つのモードの組合わせの数
(京都外周部)

モードの組合わせ	度数	%
加速 - 定速	340	21.8
加速 - 減速	129	8.2
定速 - 加速	110	7.1
定速 - 減速	313	20.1
減速 - 加速	135	8.7
減速 - 定速	83	5.3
減速 - アイドル	224	14.4
アイドル - 加速	224	14.4
合 計	1558	100.0

に定速が現れる組合わせの割合（21.8%）がもっとも大きく、定速のつぎに減速の現れる組合わせ（20.1%）と同程度を示す。これらの割合は市の中心部よりもやや大きく、他の組合わせの割合は10%以下で、中心部と大差はない。アイドルのつぎに加速、および減速のつぎにアイドルの現れる度数は定義からサイクル数と等しい。また、走行サイクルあたりの組合わせ数（6.96）は中心部（5.23）よりやや大きい。

ここで、アイドル（状態 E_1 ）、加速（状態 E_2 ）、定速（状態 E_3 ）、減速（状態 E_4 ）とすると、 E_i 状態のつぎに E_j 状態の現れる確率 P_{ij} から、遷移確率行列 P はつぎのように示される。

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.725 & 0.275 \\ 0 & 0.260 & 0 & 0.740 \\ 0.507 & 0.305 & 0.188 & 0 \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (5-19)$$

これを前節と全く同様の手法で計算した。その結果、アイドルから n ステップ目でアイドルにもどる確率 $P_{11}^{(n)}$ は

$$P_{11}^{(n)} = 0.143 + (-1)^n \frac{0.208}{(1.407)^n} + \frac{0.323+0.081i}{(-0.378+1.571i)^n} + \frac{0.323-0.081i}{(-0.378-1.571i)^n} \quad \dots\dots\dots (5-20)$$

となり、再帰時間確率 $f_{11}^{(n)}$ は、 $P_{11}^{(n)}$ を用いて逐次計算で求めた。 $n=1$ から $n=25$ までについての結果は表 5-26 に示す。

また、式 5-18 から理論平均再帰時間 μ_1 は

$$\mu_1 = 6.95 \quad \dots\dots\dots (5-21)$$

となり、 μ_1 の分散は

$$\sigma_1^2 = 18.93 \quad (\sigma_1 = 4.35) \quad \dots\dots\dots (5-22)$$

である。すなわち、モード数 n の期待値 μ_1 は 6.95 (標準偏差 4.351) で、市の中心部の値 (5.23) よりかなり大きい。

7-5 合理的走行サイクルの選定

外周部の走行から求めた走行モードの再帰確率分布 ($P_{11}^{(n)}$)、ならびに再帰時間確率分布 ($f_{11}^{(n)}$) を n について 1 から 25 までを図 5-18 に示す。

アイドルからはじめて n ステップ目にはじめてアイドルが現れる確率の最大値は中心部と同様に $n=4$ で与えられ、アイドルからはじめて、4 モード目

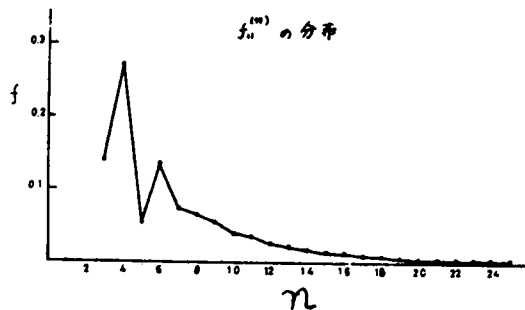
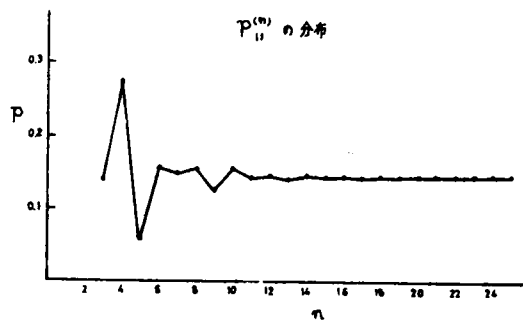
図 5-18 $p_{11}^{(n)}$ および $f_{11}^{(n)}$ の分布 (京都外周部)

表 5-26

$P_{11}^{(n)}$ および $f_{11}^{(n)}$

(京都外周部)

n	$P_{11}^{(n)}$	$f_{11}^{(n)}$
1	0	0
2	0	0
3	0.139	0.139
4	0.272	0.272
5	0.057	0.057
6	0.156	0.137
7	0.148	0.072
8	0.156	0.066
9	0.126	0.054
10	0.154	0.040
11	0.142	0.034
12	0.145	0.026
13	0.141	0.021
14	0.146	0.017
15	0.143	0.013
16	0.144	0.011
17	0.143	0.008
18	0.144	0.007
19	0.143	0.005
20	0.144	0.004
21	0.144	0.003
22	0.144	0.003
23	0.144	0.002
24	0.144	0.002
25	0.144	0.001
∞	0.143	0.000



にアイドルが最大確率 (27.2%) で現れることを示し、中心部の場合 (37.9%) にくらべてかなり低い。また、平均再帰時間 μ_1 は 6.95 で、合理的なサイクルのモード数は μ_1 にもっとも近い整数である 7 モードを用いるのがもっとも妥当である。

図5-19 実測再帰時間分布(市外周部)

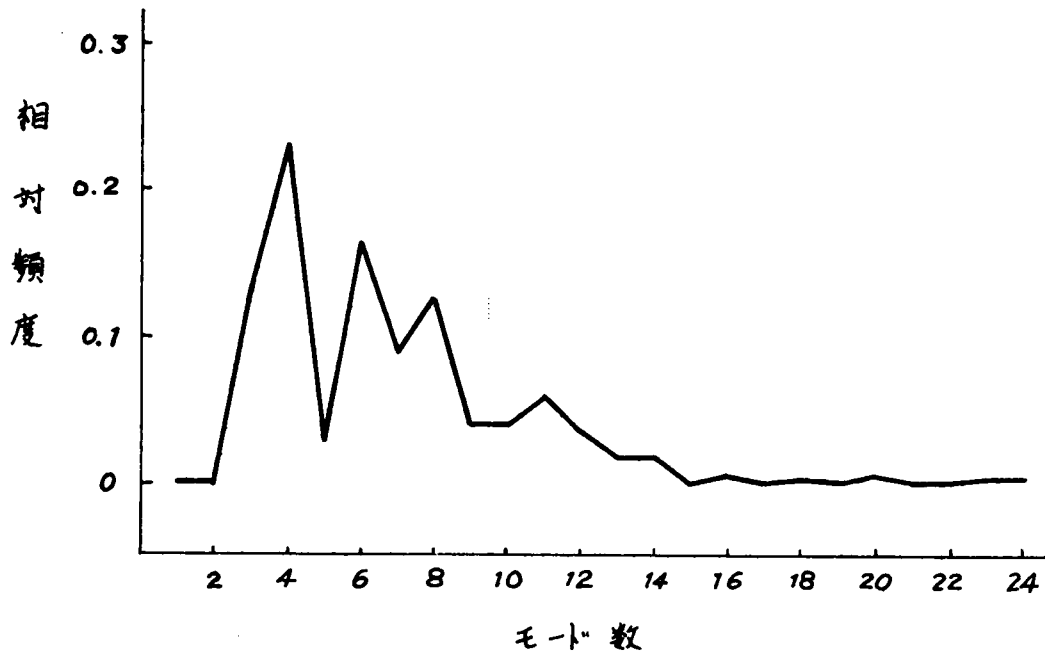
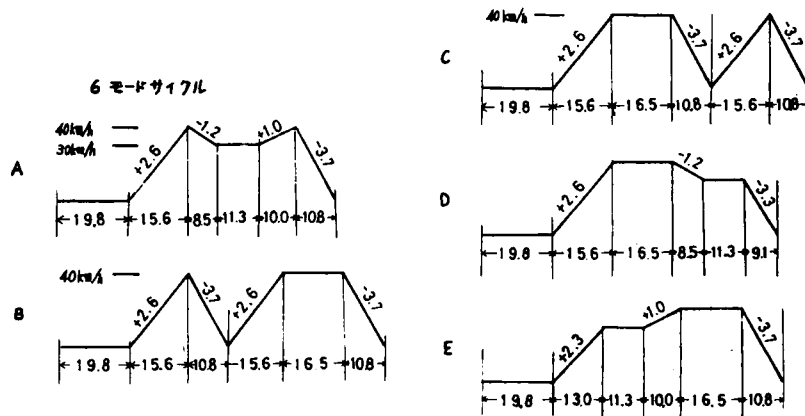


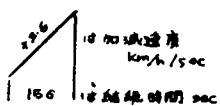
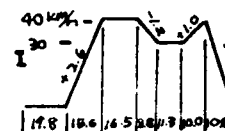
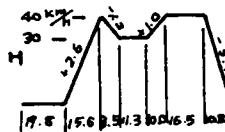
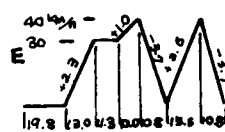
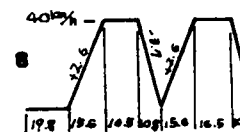
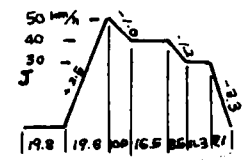
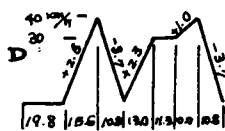
図5-10
市外周部の合成サイクル



4モードサイクル



7モードサイクル



実測のサイクル（224）の構成モード数の度数分布は図5-19に示す。理論再帰時間確率分布 $\{f_{11}(n)\}$ （図5-18）と同様の傾向を示し、4モードサイクルの出現頻度（22.7%）がもっとも大きく、6モードサイクルの出現頻度（16.0%）がこれにつぐ。中心部で4モードにつぐ出現頻度を示した3モードサイクル（23.5%）は外周部での頻度が12.9%で、8モードサイクル（12.4%）と同程度である。外周部では交差点を直進通過したことが多く、3モードサイクルの頻度が大幅に減少した。また、交差点間隔が長いために、6モード（16.0%）、7モード（8.9%）、および8モードとモード数の多いサイクルの出現度数が増し、外周部での構成モード数範囲は3～24モードで、中心部（3～14モード）よりかなり大きい。すなわち、3モードおよび4モード以外のサイクルの現れる確率は64.4%と中心部（41.0%）にくらべて非常に大きい。それゆえ、4モード以外のサイクルの起こる確率を考慮した n の期待値にもとづく7モードサイクルを外周部の代表サイクルとするのが合理的である。ここで、4モードおよび7モードサイクルに実測の速度条件をあてはめ、もっとも妥当なサイクルを選定した。基本型は4モード1種、7モード11種が考えられる。第6節と同様に、各合成サイクルに出現頻度と相対時間比から、採点法での評価で最小点の合成サイクルを各基本型について図5-20のように選んだ。図には平均再帰時間（6.95）に近い6モードについても示す。各合成サイクルの走行モードの時間比およびサイクルの所要時間は表5-27に示し、表には実測平均値をも示す。4モードサイクルは、実測で

表5-27 合成サイクルの時間比（京都外周部）

項目 合成サイクル	サイクルの 所要時間 (秒)	走行モードの時間比 %			
		アイドル	加速	定速	減速
4モードサイクル	62.7	31.6	24.9	26.3	17.2
6モードサイクル	A	76.6	25.8	34.2	14.8
	B	80.1	22.2	35.0	18.5
	C	80.1	22.2	35.0	18.5
	D	82.8	23.9	18.8	36.0
	E	81.4	24.3	28.3	34.2
7モードサイクル	A	90.5	20.1	47.5	0
	B	105.6	18.7	29.5	31.2
	C	83.0	23.9	27.7	27.2
	D	81.3	24.4	35.2	13.9
	E	81.3	24.4	35.2	13.9
	F	90.7	21.8	34.4	12.5
	G	90.7	21.8	34.4	12.5
	H	92.5	21.4	27.1	30.1
	I	92.5	21.4	27.1	30.1
	J	94.8	20.9	20.7	29.3
	K	92.8	21.3	35.7	30.0
実測平均値	85.4	25.2	28.5	26.9	20.3

出現頻度と
相対時間比
が最大を示
した速度条
件のみから
形成され、
モードの時
間比は実測
とくらべる
と定速が全
く等しく、
加速および
減速は大差
がなく、ア
イドルが
なり大きい。
中心部の4
モードサイ
クル（第6
節）とは加
速がやや小
さいほかは

大差はない。合成7モードサイクルのA型は定速が欠け、B型はアイドルの時間比（18.7%）が実測（25.2%）より非常に小さい。C～F型は定速で出現頻度と相対時間比が最大の40km/h定速が欠け、J、K型は加速および減速で、出現頻度と相対時間比が最大の40km/hから0km/hへの減速、0km/hから40km/hへの加速のいずれかがない。HおよびI型は同じ速度条件のみから形成され、出現頻度と相対時間比が最大の速度条件を含むから、もっとも妥当な走行サイクルと考えられる。7モードサイクルのH（I）型のサイクル所要時間は92.5秒で、実測（85.4秒）よりやや大きく、走行モードの時間比を実測とくらべると、定速（30.1%）がやや大きく、アイドル（21.4%）がやや小さい。

加速（27.7%）と減速（20.9%）は実測（28.5%、20.3%）と大差がない。市の中心部でもっとも妥当な6モードサイクル（B，C型）にくらべると、加速が約8%小さく、定速が約8%大きいほかは大差がない。

7-6 総括

京都旧市街の外周路線を連ねた循環路（東山、九条、西大路、北大路），ならびに中心部と外周路を結ぶ主要路線で走行実験を行なった。走行記録から前節と同様の方法でもっとも合理的な走行サイクルを選定した。その結果を要約するとつぎのとおりである。

1. 中心部と外周路とを結ぶ路線は平均距離2.7km，平均時間6分29.1秒，平均車速25.3km/hで，循環路線は22.0km，平均時間53分43.1秒，平均車速25.2km/hを示した。走行モードの時間分布には大差がなく，全平均で，アイドル25.2%，加速28.5%，定速26.9%，減速20.3%を示す。外周部の平均車速は中心部より約5km/h高い。モードの時間比は中心部よりアイドルが約5%小さく，減速は約3%大きく，定速および加速は大差がない。
2. 外周部で224サイクルが記録され，モード別にはアイドル224回，加速469回，定速423回，減速442回を示した。サイクルの平均時間は85.4秒で，中心部（59.2秒）よりかなり大きい。
3. 0km/hから40km/hへの加速（17.4%），40km/h定速（47.7%），40km/hから0km/hへの減速（24.6%）がそれぞれ最大頻度を示した。また，0km/hから40km/hへの加速（23.9%），40km/h定速（60.7%），40km/hから0km/hへの減速（29.9%）がそれぞれ最大の時間比を示す。これらの速度条件が最大の相対頻度および時間比を示すことは中心部と同様であるが，個々の値は大きく異なる。
4. トリップチャートから1,558個の連続した走行モードの組合せが得られ，加速のつぎに定速（21.8%）がもっとも多く現れ，定速のつぎに減速（20.1%）とほぼ同程度を示す。モードの再帰時間確率の最大値（0.272）は $n=4$ で得られ，平均再帰時間は $\mu_i=6.95$ （標準偏差4.35）を示し，確率的に期待される走行サイクルのモード数は6.95である。
5. 再帰時間確率の最大値と平均値から，4モードおよび7モードサイクルの基本型に実測の速度条件と平均時間をあてはめ，出現頻度，相対時間比にもとづく採点法から，もっとも典型的な合成サイクルのパターン（4モード1種，7モード11種）を選定した。
6. 4モードサイクル（62.7秒）は出現頻度と相対時間比が最大の条件のみから形成され，モードの時間比（アイドル31.6%，加速29.4%，定速26.3%，減速17.2%）は，実測よりアイドルが大きいほか大差がない。
7. 7モードサイクルの基本型のなかでもっとも妥当なHおよびI型は，同じ速度条件から形成され，サイクル時間（92.5秒）は実測とも大差がない。モードの時間（アイドル21.4%，加速27.7%，定速30.1%，減速20.9%）は実測よりもアイドルがやや小さいほかは大差がなく，外周部における走行サイクルとしてもっとも妥当なパターンと考えられる。また，中心部の6モードサイクルB（C）型の時間比にくらべると，加速が約8%小さく，定速が約8%大きいほか大差はない。

以上のことから，外周部は中心部よりも交通量が少なく，交差点間隔も長いために，高速度条件のモードの出現頻度ならびに時間が顕著に増え，モード数の多いサイクルが多いことがみとめられた。

第8節 大阪市の中心部における測定成績ならびに考察

8-1 実験区域

昭和40年での大阪市の主要交差点の昼間交通量平均は5,408台/時で，交通のピーク時には6,560台/時にも達する⁴³⁾と述べられており，交通停滞の発生も京都はその比ではない。⁴⁴⁾ 本節では，大阪市の比較的交通量の大きい中心地区で任意に選定した循環路線の走行実験について検討した。走行路線は第4節で述べた大阪市庁を起点とした1周15kmの循環路で，走行条件，測定方法ならびに解析方法は第6，7節で述べた京都市の場合と全く同様である。

8-2 走行モードの時間分布

循環路線の10回走行で、1周時間は38分28.6秒～1時間22分49.1秒（平均55分16.1秒）、車速は10.9～23.4km/h（平均17.0km/h）を示し、平均車速は京都中心部（20.8km/h）よりかなり低い。走行モードの平均時間比（アイドル40.0%、加速22.0%、定速18.2%、減速19.8%）は京都中心部より、アイドル約10%、減速約3%大きく、定速約9%、加速約4%小さく、京都とはかなり異なる。

8-3 速度条件の相対頻度、相対時間比および平均継続時間

循環路線のトリップチャートから、410個の走行サイクル（アイドル410個、加速794回、定速613回、減速746回）が記録され、走行サイクルの平均時間は79.0秒で（6.9～317.0秒）、京都中心部（59.2秒）よりかなり大きい。

8-3-1 速度条件の相対頻度

速度条件の相対出現頻度は表5-28に示す。加速では、0km/hから20km/hへの加速頻度（15.0%）が最大で、0km/hから40km/hへの加速がこれにつき、自動車の発進加速が半数（50.7%）を占める。終末速度は、40km/hまでの加速（31.2%）がもっとも大きい。定速では、40km/h定速の頻度（28.7%）がもっとも大きく、20km/h定速および30km/h定速は23.3%と全く等しい。減速では、40km/hから0km/hへの減速（14.2%）がもっとも大きい。初期速度は、40km/hからの減速（31.7%）がもっとも大きい。減速の約半数（53.5%）は走行停止に至るものである。

表5-28 速度条件の相対出現頻度%

（大阪中心部）

終末速度 Km/h 初期速度 Km/h	0	5	10	20	30	40	50	60
0	—	2.7	6.8	15.0	9.5	12.6	3.7	0.4
5	2.9	2.4	2.1	3.3	1.1	1.2	0.1	—
10	6.7	2.8	12.2	3.2	4.7	2.6	0.5	—
20	12.5	3.7	3.9	23.3	7.2	5.9	1.2	—
30	12.0	1.2	3.4	6.4	23.3	8.9	1.4	—
40	14.2	1.3	3.5	4.2	8.5	28.7	4.7	0.5
50	4.8	0.4	0.3	1.3	1.4	4.4	9.5	0.4
60	0.4	—	0.1	—	0.1	0.3	0.1	0.6

太線枠より上は加速
太線枠より下は減速

太線枠内は定速

各速度条件の相対頻度は京都市の中心部とはかなり異なる。京都中心部では0km/hから40km/hへの加速が最大頻度を示したが、大阪では0km/hから20km/hへの加速が最大を示す。40km/h定速が最大頻度を示すのは大阪、京

表5-29 速度条件の相対時間比%

（大阪中心部）

終末速度 Km/h 初期速度 Km/h	0	5	10	20	30	40	50	60
0	—	1.0	3.2	10.0	12.5	21.1	6.8	1.1
5	1.1	1.2	1.1	2.0	1.4	1.9	0.2	—
10	4.0	1.0	8.9	1.9	4.2	3.4	1.0	—
20	10.4	3.4	2.2	16.4	5.4	6.4	2.0	—
30	13.2	1.3	3.4	4.7	24.3	7.2	1.8	—
40	19.9	2.1	4.6	4.8	6.9	37.6	3.5	0.6
50	8.3	0.5	0.4	1.6	1.8	3.4	10.5	0.4
60	0.6	—	0.2	—	0.2	0.4	0.1	1.2

太線枠より上は加速
太線枠より下は減速

太枠内は定速

都とも同様であるが、その値は京都中心部（49%）より大阪（28.7%）がかなり低い。大阪では20km/h定速（23.3%）がかなり大きく、30km/h定速と同率を示す。減速では京都、大阪とも40km/hから0km/hへの減速の頻度がもっとも大きい。これらのことから、大阪では交通量が大きくて、低速度条件が京都よりも多く現れることがみとめられる。

8-3-2 速度条件の相対時間比

各速度条件の相対時間比は表5-29

に示す。0Km/hから40Km/hへの加速(21.1%)がもっとも大きく、0Km/hから20Km/hへの加速は出現頻度が最大を示したが、相対時間比は10.0%とやや小さい。これは加速時間が短いためである。発進加速が全加速時間の過半(55.7%)を占め、終末速度は、40Km/hまでの加速(40.0%)がもっとも大きい。定速では、40Km/h定速(37.6%)が最大で、30Km/h定速がこれにつぐ。減速では、40Km/hから0Km/hへの減速が19.9%ともっとも大きく、30Km/hから0Km/hへの減速(13.2%)がこれにつぐ。初期速度は、40Km/hからの減速(38.3%)が最大である。走行停止に至る減速時間が過半(57.5%)を占める。各速度条件の相対時間比は京都市中心部とはかなり異なるが、各モードについて最大の時間比を示す速度条件は全く同様である。すなわち、0Km/hから40Km/hへの加速の時間比(21.1%)は京都中心部(25.6%)よりやや小さく、40Km/h定速(37.6%)は京都中心部(49.2%)よりもかなり小さい。40Km/hから0Km/hへの減速(19.9%)も京都中心部(25.7%)よりかなり小さい。このことは大阪では交通が京都よりも過密化しており、低速度の走行条件が多く現れるためと考えられる。

8-3-3 速度条件の平均継続時間

各速度条件の平均継続時間は表5-30に示す。表にはアイドルおよび継続時間の最大および最小値をも示す。アイドル

表5-30 速度条件の継続時間, sec (大阪中心部)

上は範囲, 下は平均

終末速度 Km/h 初期速度 Km/h	0	5	10	20	30	40	50	60
0	1.0-19.1 31.6	1.3-6.1 3.2	1.3-9.2 4.2	1.5-14.6 5.9	4.6-26.4 11.6	6.7-39.7 14.7	10.5-27.9 16.1	24.8-27.9 26.0
5	1.3-5.5 3.1	2.0-8.3 4.8	2.0-8.5 4.8	1.1-11.3 5.4	4.8-18.9 11.3	7.5-20.6 13.2	11.6- 11.6	—
10	1.6-13.6 5.1	2.2-9.0 4.3	1.7-27.9 6.9	0.7-11.2 5.2	2.9-15.1 7.8	5.4-23.4 11.5	11.3-24.0 17.2	—
20	1.8-20.2 7.0	2.6-14.6 7.2	2.4-8.8 4.6	1.7-19.7 6.7	2.4-14.4 6.7	4.8-21.0 9.5	8.5-23.6 13.9	—
30	4.1-21.2 9.2	6.3-11.0 9.0	4.2-15.9 8.3	2.6-17.0 6.1	1.1-44.2 9.9	2.9-17.7 7.1	6.6-14.6 11.7	—
40	4.4-24.6 11.7	4.6-18.2 13.3	3.5-18.7 10.9	4.0-18.2 9.6	2.5-15.4 6.8	1.4-73.8 12.4	4.0-15.2 6.6	9.3-14.7 10.8
50	5.2-21.4 14.3	9.3-12.9 10.9	13.3-14.6 14.0	4.8-17.8 10.1	4.2-17.0 10.7	2.6-13.3 6.4	2.0-43.0 10.5	8.4-10.1 9.1
60	7.5-18.8 13.0	—	(10.7) 10.7	—	(14.0) 14.0	11.9-14.9 13.4	—	9.6-20.9 7.1

太線枠内は定速
太線枠外上は加速
太線枠より下は減速

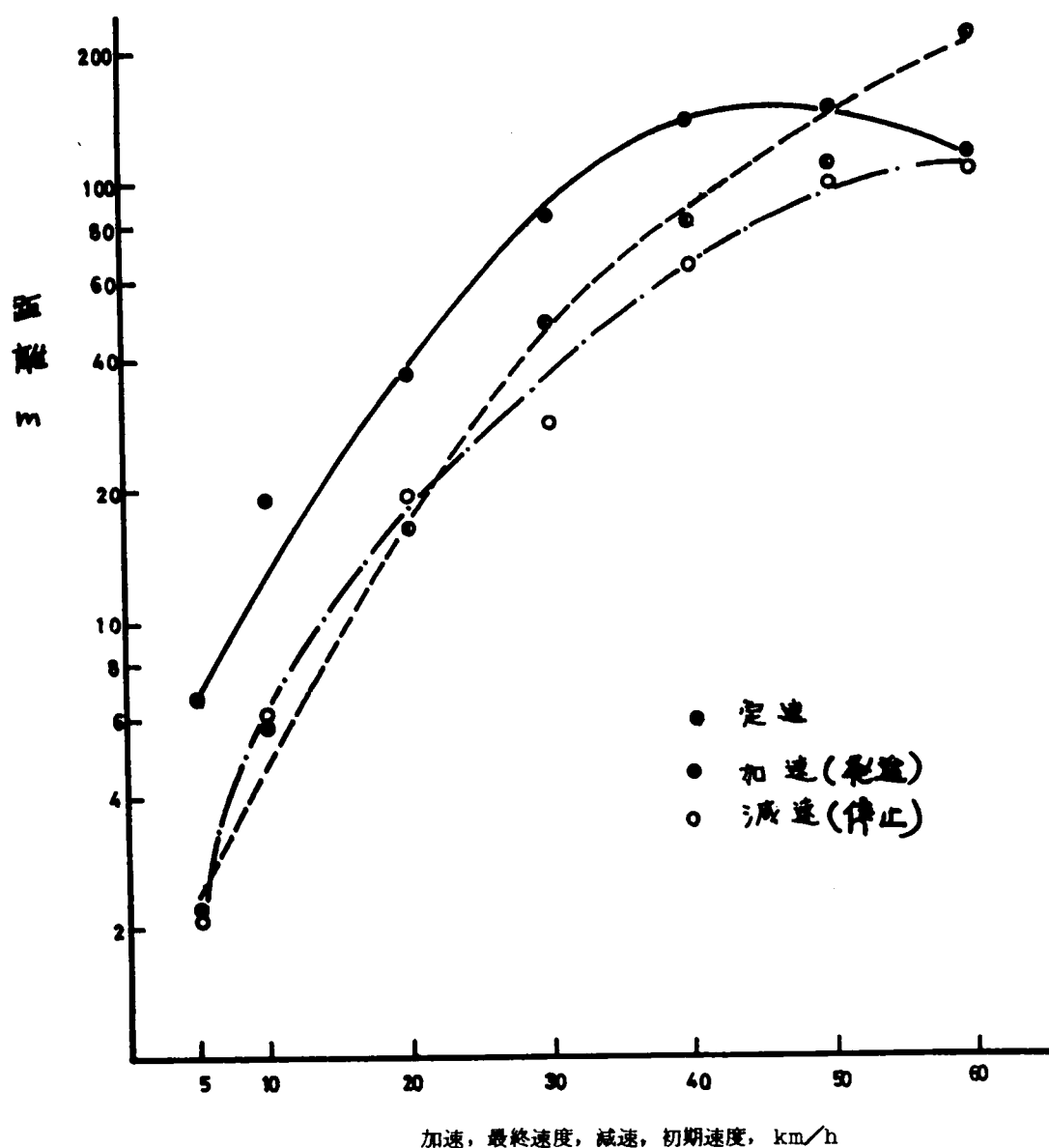
ル時間は1.0
~13.9秒
(平均31.6
秒)で、京
都中心部(平
均18.0秒)
より著しく
大きい。0
Km/hから
40Km/h
への加速時
間は14.7
秒で、0Km
/hから20
Km/hへの
加速は5.9
秒を示し、
いずれも京
都中心部と
大差はない。
定速では40
Km/h定速
時間(12.4
秒)がもっ

とも大きい。京都中心部(17.5秒)よりもかなり小さく、大阪市では自動車が集積した状態であるために定速時間が大巾に短く、低速度での加速減速がくり返される走行となる。減速で出現度数のもっとも多い40Km/hから0Km/hへの減速時間は平均11.7秒を示す。また、京都中心部に比べて大阪では高速からの減速度が大きい。

8-3-4 走行距離

0 Km/hからの加速、および0 Km/hで終る減速についての平均走行距離数を各速度条件について図5-21に示す。図には定速についても示す。加速終末速度および減速初期速度の増加につれて走行距離数がほぼ同様の傾向で増大する。減速の初期速度が50 Km/hと60 Km/hでは走行距離はほとんど変わらず、大阪での減速による走行距離は約100 mが限度とみられる。定速では車速が50 Km/hをこえると走行距離が減少する。これは車速が高くなるまでにかかなりの距離を経過しており、60 Km/hに達した際にはすでにつきの停止地点までの距離も少なく、直ちに減速状態に移るため、大阪市中心部での定速の限度は約150 mとみられる。京都中心部とくらべると、加速での走行距離は大差がなく、減速での距離は大阪がわずかに大きい。5 Km/h、および10 Km/h定速での距離は大阪がやや大きく、20 Km/h以上の定速では京都中心部が大きく、大阪では低速度条件での走行が多いことを示す。定速による最大走行距離は京都（約200m）が大である。

図5-21 各速度条件における走行距離数（大阪中心部）



8-4 走行サイクルのモード数の解析

大阪市中心部での連続した走行モードの組合わせ数は表5-31のとおり。合計2,600個の組合わせが測定された。アイドルのつぎに加速、ならびに減速のつぎにアイドルの現れる組合わせは定義(第5節)から、走行サイクルの全数(410)と等しい。加速のつぎに定速の頻度(18.3%)がもっとも大きく、定速のつぎに減速(16.8%)、および加速のつぎに減速(12.7%)の現れる頻度もかなり大きい。京都市中心部とはかなり異なる。すなわち、加速のつぎに定速と定速のつぎに減速の頻度が京都市中心部(20.4%、18.8%)よりやや小さく、加速のつぎに減速の頻度は大阪(12.7%)が京都(9.0%)よりかなり大きい。

ここで、状態 E_1 (アイドル)、 E_2 (加速)、 E_3 (定速)、 E_4 (減速)とし、本章第5節で述べたように状態 E_i のつぎに状態 E_j の現れる確率 P_{ij} から、遷移確率行列 P はつぎのように示される。

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.591 & 0.409 \\ 0 & 0.300 & 0 & 0.740 \\ 0.535 & 0.274 & 0.191 & 0 \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (5-23)$$

図5-22 $P_{11}^{(n)}$ および $f_{11}^{(n)}$ の分布(大阪中心部)

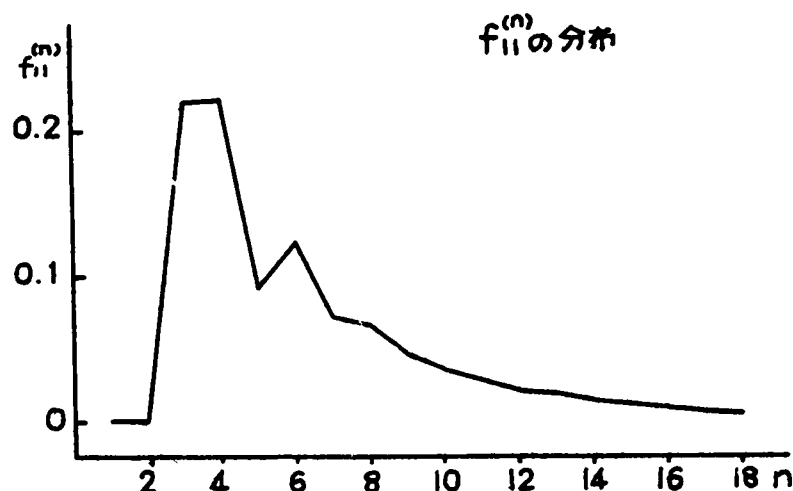
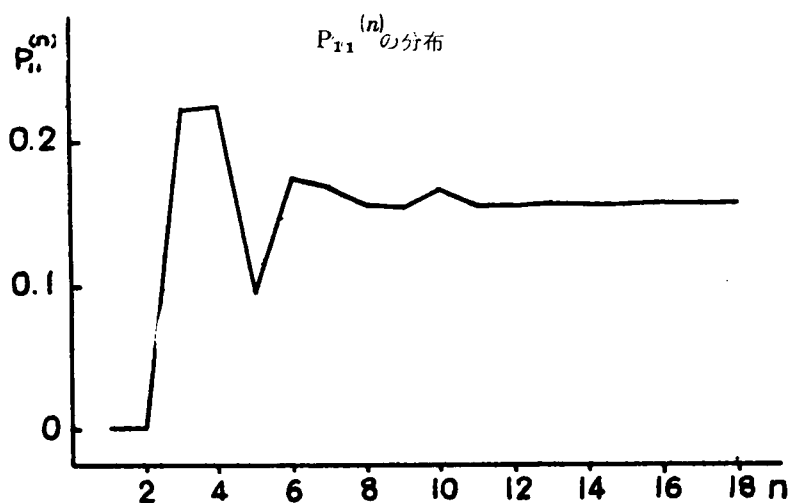


表5-31

連続したモードの出現度数
(大阪中心部)

モードの組合わせ	度数	%
加速-定速	477	18.3
加速-減速	330	12.7
定速-加速	187	7.2
定速-減速	436	16.8
減速-加速	210	8.1
減速-定速	140	5.4
アイドル-加速	410	15.8
減速-アイドル	410	15.8
合計	2600	100.1

これを第6節および第7節と同様の手法で計算した。

その結果、アイドルから n ステップ目でアイドルにもどる確率 $P_{11}^{(n)}$ は

$$P_{11}^{(n)} = 0.157 + (-1)^n \frac{0.148}{(1.564)^n} + \frac{0.347 + 0.056i}{(-0.521 + 1.617i)^n} + \frac{0.347 - 0.056i}{(-0.521 - 1.617i)^n} \quad \dots\dots (5-24)$$

となる。

アイドルの再帰時間確率 $f_{11}^{(n)}$ は $P_{11}^{(n)}$ から逐次計算で得られ、 $n=1$ から $n=18$ までについて図5-22に示す。

また、式5-18から、理論平均再帰時間 μ_j は

$$\mu_1 = 6.36 \quad \dots (5-25)$$

となり、 μ_1 の分散は

$$\sigma_1^2 = 15.04 \quad (\sigma_1 = 3.87) \quad \dots (5-26)$$

である。すなわち、モード数 n の

期待値 μ_1 が 6.36 (標準偏差 3.87) で、京都中心部 (5.23) より大きく、京都市外周部 (6.95) よりもやや小さい。

図5-23 実測におけるモード数の分布 (大阪中心部)

8-5 大阪市における合理的走行サイクルの選定

大阪市の中心部でのトリップ

チャートの解析から、アイドルからはじまって4モードにアイドルが最大の確率 (22.1%) で現れ、モード数 n の期待値である平均再帰時間 μ_1 が 6.36 を示した。すなわち、走行サイクルのモード数は μ_1 に近い整数の6がもっとも合理的である。

実測の走行サイクル (410) の構成モード数の度数分布を図5-23に示す。図5-22に示した再帰確率分布 $\{f_{11}(n)\}$ 、および再帰時間確率分布 $\{P_{11}(n)\}$ と同様の傾向を示す。実測では、4モードサイクルの頻度 (19.8%) がもっとも大きく、3モー

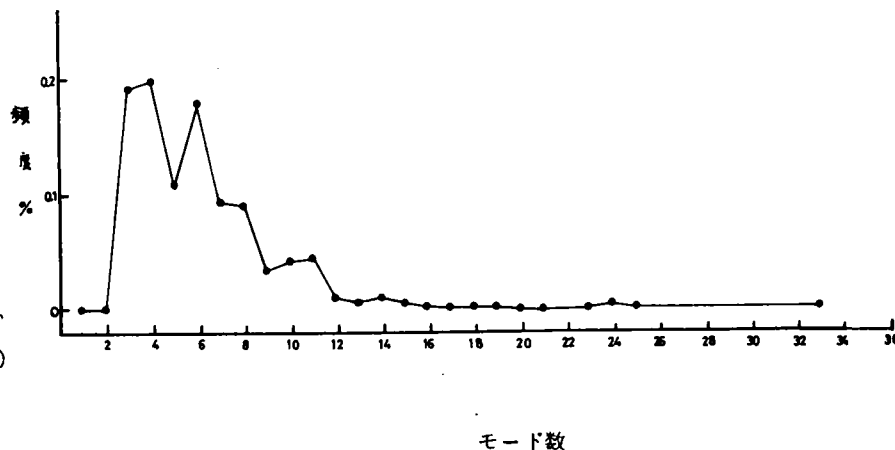
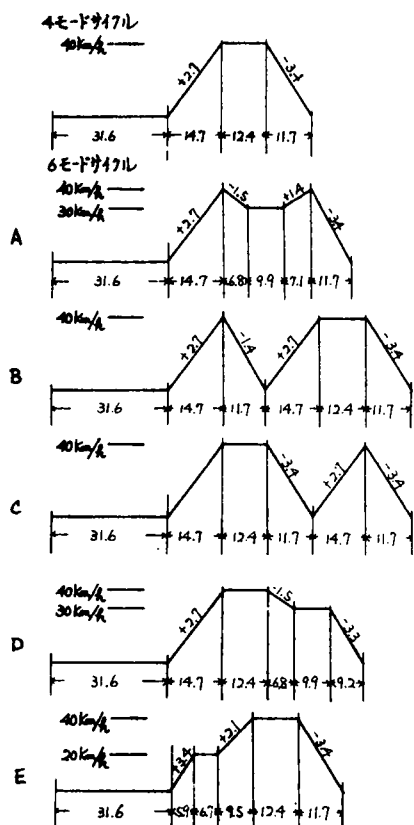


図5-24 合成モードサイクル (大阪中心部)



ドサイクル (19.3%) もこれに近い。しかし、京都中心部での3モード (23.5%)、4モード (35.5%) の頻度よりもかなり小さい。6モードサイクルの頻度が15.9%と比較的大である。また、実測での構成モード数は3〜34モードと広い範囲に及んでおり、3と4モード以外のサイクルの頻度 (60.9%) がかなり大きく、これを無視することはできない。

以上のことから、平均再帰時間の値にもとづく6モードサイクルを大阪中心部での代表的走行サイクルとするのがもっとも妥当と考えられ、実測条件をあてはめて検討した。また、最大確率を示す $n=4$ から4モードサイクルについても検討した。走行サイクルの基本型には4モード1種、6モード5種が考えられ、実測条件をあてはめて走行サイクルを合成した。速度条件の出現頻度と相対時間比の最大条件を基準にして得点を与える採点法 (第6、7節と同様) から、最小得点のサイクルを選定した。合成サイクルは図5-24に示し、走行モードの時間比ならびに所要時間は表5-32に示す。実測では 0 km/h から 20 km/h への加速の出現度数が最大を示したが、加速での相対時間比は 0 km/h から 40 km/h への加速がもっとも大きいこと、ならびに加速に続く定速の

表 5-3.2 合成走行サイクルの時間比
(大阪中心部)

項 目 合成 サイクル	サイクル 所要時間 秒	モードの時間比 %			
		アイドル	加速	定速	減速
4モードサイクル	70.4	44.9	20.9	17.6	16.6
6モードサイクル	A	81.8	38.6	26.7	12.1
	B	96.8	32.6	30.4	12.8
	C	96.8	32.6	30.4	12.8
	D	86.4	36.6	17.0	25.8
	E	77.8	40.6	19.8	24.6
実測平均値	79.0	40.0	22.0	18.2	19.8

ンをも包含するから、大阪中心部の走行サイクルの典型としてもっとも合理的と考えられる。サイクル時間は96.8秒で、実測よりかなり大きく、走行モードの時間比は実測よりもアイドルが約7%、定速が約5%とともに小さく、加速が約8%、減速が約4%大きい。

8-6 総 括

大阪市中心部の循環路線（1周15km）の走行実験から、もっとも合理的な走行サイクルの選定を行なった。その結果を要約するとつぎのとおりである。

1. 循環路線の1周に要する平均時間は55分16.1秒で、平均車速は17.0km/hとかなり低い。走行モードの時間比はアイドル40.0%、加速22.0%、定速18.2%、減速19.8%で、アイドルの割合が著しく大である。

10回の走行で410個の走行サイクルが記録され、アイドル410回、定速613回、減速746回の構成を示し、サイクル平均時間は79.0秒である。

2. 0km/hから20km/hへの加速の頻度が最大（15.0%）で、定速では40km/h定速の頻度（28.7%）がもっとも大きい。減速では40km/hから0km/hへの減速の頻度（14.2%）がもっとも大きく、発進加速が全加速度数の半数を占め、減速では走行停止に至る減速度数が過半を占める。

3. 相対時間比は、0km/hから40km/hへの加速の時間比（21.1%）がもっとも大きく、定速では40km/h定速（37.6%）が最大を示す。減速では40km/hから0km/hへの減速（19.9%）がもっとも大きく、発進加速に費される時間、および走行停止に至る減速で費される時間が全加速、および全減速時間の過半を占める。

4. 走行記録から連続した走行モードの組み合わせ2,600個が得られ、加速のつぎに定速（18.3%）、加速のつぎに減速（12.7%）および定速のつぎに減速（16.8%）の頻度が比較的大である。各モードの現れる確率から、再帰時間確率分布の最大値（22.1%）は $n=4$ でえられ、平均再帰時間 μ_1 は6.36（標準偏差3.87）で、確率的に期待される走行サイクルのモード数は6.36であることが示された。

5. 再帰時間確率の最大値、および平均から、4モードおよび6モードサイクルに実測条件をあてはめ、出現頻度と相対時間比の大きい順に採点を与える採点法で最小点のサイクルを選定した。合成4モードサイクル時間は70.4秒で、モードの時間比はアイドル44.9%、加速20.9%、定速17.6%、減速16.6%を示す。

6モードサイクルB（C）型は同じ速度条件から形成され、4モードサイクルのパターンをも包含するから、大阪中心部の平均的走行パターンとしてもっとも妥当と考えられ、サイクル時間は96.8秒で、モードの時間分布はアイドル32.6%、加速30.4%、定速12.8%、減速24.2%を示す。

以上は、大阪中心部での走行実験の結果で、京都中心部とはかなり異なった走行様式を示すことがみとめられた。すなわち、アイドルの時間が長く、低速での加速条件の頻度が京都にくらべて大巾に多く、これらは交通密度の相違にもとず

条件から、0km/hから40km/hへの加速を4モードサイクルの加速に適用するのがもっとも妥当で、定速および減速には実測で相対頻度ならびに相対時間が最大を示した条件である。4モードサイクル時間は70.4秒で、実測よりやや短い。走行モードの時間比は実測よりもアイドルが約5%大きく、加速、定速および減速には大差がない。6モードサイクルのA、DおよびE型は、実測で出現頻度および相対時間比に最大を示した速度条件のいずれかが欠けており、代表的走行パターンとしては適当でない。B型およびC型は同じ速度条件のみから形成され、4モードサイクルのパター

くものと考えられる。

第 9 節 京都、大阪における走行サイクルの比較

9-1 目 的

本章第 6、7 および 8 節では、京都中心部と外周部、ならびに大阪中心部での走行実験から、もっとも妥当な走行サイクルを誘導した。京都中心部では 6 モードサイクル、外周部では 7 モードサイクル、大阪中心部では 6 モードサイクルがもっとも平均的な走行サイクルとして導かれ、米国^{23) 36)} の 7 モードサイクルやわが国の 4 モードサイクル⁴⁾ とも大きく異なる。都市の自動車の走行様式は都市構造、道路事情および交通量などの要因に大きく影響されることは当然で、本章も実験区域の諸特性から、走行パターンに大きな相異が生じたと考えられる。本節では、これらの成績から京都および大阪市の走行を代表する走行サイクルを選ぶために、これまでの成績と合成サイクルを比較検討した。

9-2 走行モードの時間分布

京都市の中心部と外周部、および大阪市中心部での、実測による平均車速と走行モードの時間分布を表 5-33 に比較した。表には米国の 7 モードおよび 11 モードサイクル³²⁾、船舶技研案⁸⁾、ならびにわが国の 4 モードサイクル⁴⁾ についても示す。各実験区域での車速は約 12~45 Km/h で、都市内の車速は交通量に大きく影響され、昭和 40 年度の調査^{42) 43)} では京都中心部、約 3~4 万台/時、外周部、約 2~3 万台/時、大阪市中心部⁴⁵⁾、約 6~7 万台/時を示し、交通量と車速は反対の傾向を示し、もっとも交通量の大きい大阪中心部の車速 (17.0 Km/h) がもっとも低い。交通量と平均車速の函数関係については、本実験の資料からは明らかにできないが、京都、大阪の市街域での平均車速は 15~30 Km/h 程度で、交通量が非常に大きいと 10 Km/h 程度にまで低下することも考えられる。

表 5-33 走行モードの時間比の比較

項 目 実験区域 とテスト パターン	平均車速 Km/h	走行モードの時間分布 %			
		アイドル	加速	定速	減速
京 都 市 中 心	20.8	30.3	25.8	26.9	17.0
京 都 市 外 周	25.2	25.2	28.5	26.9	20.3
大 阪 市 中 心	17.0	40.0	22.0	18.2	19.8
船 舶 技 研 案 ⁸⁾	—	35.0	14.0	45.0	6.0
カリフォルニア ³²⁾ 7 モード	—	14.6	31.4	21.9	32.1
カリフォルニア ³²⁾ 11 モード	—	15.0	36.7	16.0	32.3
わが国 4 モードサイクル ⁴⁾	—	28.2	16.2	42.3	13.4

走行モードの時間比も路線で大きく異なり、平均車速が低下するとアイドルの時間比が増し、定速の時間比が著しく低下する。京都、大阪の都市域では走行モードの時間比は、アイドル 25~40%、加速 22~29%、定速 18~27%、減速 17~20% で、交通量が増すにつれてアイドルが増大し、定速が減少する。わが国の代表的パターンといわれる船舶技研案⁷⁾、および 4 モードサイクル⁴⁾ の時間比は、本研究の値より加速が著しく小さく、定速はほぼ 2 倍と大きく、減速も大きく異なる。交通量が約 2~3 万台/時の京都外周部 (第 7 節) の値から、船舶技研案やわが国の 4 モードサイクルは交通量が少ない信号間隔の長い路線の状態を示すと考えられる。また、米国の 7 モードサイクル (11 モードサイクル)³⁶⁾ にくらべると、本測定値はアイドルはほぼ $\frac{1}{2}$ で、わが国の都市の排気による汚染の評価にこれらのテストサイクルを適用するにはさらに検討を要する。

9-3 速度条件の相対頻度、相対時間比および平均継続時間

京都、大阪での成績について、出現頻度と相対時間比が最大を示した条件から第 3 位までを地区別に表 3-34 に示す。京都中心部と外周部では、0 Km/h から 40 Km/h への加速の出現頻度 (約 17%) がもっとも大きく、その割合もほと

表5-34 主なる速度条件の相対頻度と時間比の地区別比較

分類	地区	モード	加 速			定 速			減 速		
		順 位	1	2	3	1	2	3	1	2	3
相 対 頻 度	京都市中心	速度条件km/h 相 対 頻 度 %	0→40 17.3	0→30 13.1	0→20 12.1	40 36.0	30 26.3	20 15.9	40→0 22.0	30→0 14.5	20→0 10.3
		速度条件km/h 相 対 頻 度 %	0→40 17.4	30→40 12.4	0→30 9.8	40 47.7	30 26.7	20 10.6	40→0 24.6	40→30 12.9	30→0 10.6
	大阪市中心	速度条件km/h 相 対 頻 度 %	0→20 15.0	0→40 12.6	0→30 9.5	40 28.7	30 23.3	20 23.3	40→0 14.2	20→0 12.5	30→0 12.0
		速度条件km/h 相 対 頻 度 %	0→40 25.6	0→30 15.5	0→50 12.1	40 49.2	30 25.6	50 10.9	40→0 25.7	30→0 14.5	50→0 12.1
	京都市外周	速度条件km/h 相 対 頻 度 %	0→40 23.9	0→30 11.2	30→40 11.0	40 60.7	30 23.2	50 6.1	40→0 29.9	40→30 12.4	30→0 11.0
		速度条件km/h 相 対 頻 度 %	0→40 21.1	0→30 12.5	0→20 10.0	40 37.6	30 24.3	20 16.4	40→0 19.9	30→0 13.2	20→0 10.4
相 対 時 間 比	京都市中心	速度条件km/h 相 対 頻 度 %	0→40 25.6	0→30 15.5	0→50 12.1	40 49.2	30 25.6	50 10.9	40→0 25.7	30→0 14.5	50→0 12.1
		速度条件km/h 相 対 頻 度 %	0→40 23.9	0→30 11.2	30→40 11.0	40 60.7	30 23.2	50 6.1	40→0 29.9	40→30 12.4	30→0 11.0
	大阪市中心	速度条件km/h 相 対 頻 度 %	0→40 21.1	0→30 12.5	0→20 10.0	40 37.6	30 24.3	20 16.4	40→0 19.9	30→0 13.2	20→0 10.4
		速度条件km/h 相 対 頻 度 %	0→40 25.6	0→30 15.5	0→50 12.1	40 49.2	30 25.6	50 10.9	40→0 25.7	30→0 14.5	50→0 12.1
	京都市外周	速度条件km/h 相 対 頻 度 %	0→40 23.9	0→30 11.2	30→40 11.0	40 60.7	30 23.2	50 6.1	40→0 29.9	40→30 12.4	30→0 11.0
		速度条件km/h 相 対 頻 度 %	0→40 21.1	0→30 12.5	0→20 10.0	40 37.6	30 24.3	20 16.4	40→0 19.9	30→0 13.2	20→0 10.4

んど等しい。大阪では、0km/hから20km/hへの加速頻度（約15%）がもっとも大きく、0km/hから40km/hへの加速頻度（12.6%）がやや小さい。また、京都外周部では、30km/hから40km/hへの加速頻度（約12%）がかなり大きい。定速では、いずれも40km/h定速の頻度（京都中心約36%、外周約48%、大阪約29%）がもっとも大きく、その出現頻度は交通量が増えると減少すると考えられる。減速では、いずれも40km/hから停止に至る減速の頻度がもっとも大きく（京都中心約22%、外周約25%、大阪約14%）、京都外周部では40km/hから30km/hへの減速（約13%）がかなり大きい。40km/hから停止に至る減速頻度も交通量の増加につれて減少すると考えられ、交通量の大きい大阪では速度が大巾に変化する加速や減速が少なく、小さきみの速度変化が多い。交通量の小さい京都外周部では、高速条件の加速や停止に至らない減速が多い。また、各地区とも発進加速（約48～65%）が全加速度数の大半を占める。京都中心部では走行停止に至る減速（約51～69%）が全減速度数の過半を占める。

3地区とも0km/hから40km/hへの加速の時間比がもっとも大きく（京都中心約26%、外周約24%、大阪約21%）、京都外周部では、30km/hから40km/hへの加速（約11%）がやや大きい。定速では、いずれも40km/h定速の時間比がもっとも大きく（京都中心約49%、外周約61%、大阪約38%）、大阪は高速度の定速時間がもっとも少なく、交通量が定速時間比に関係すると考えられる。減速では、いずれも40km/hから停止に至る時間比がもっとも大きい（京都中心約26%、外周約30%、大阪約20%）。京都外周部では、40km/hから30km/hへの減速の出現頻度も多く、時間比（約12%）もかなり大きい。40km/hから停止に至る減速の時間比は大阪中心部がもっとも小さく、交通量が大きいと高速条件の時間が減少すると考えられる。

ここで、主な速度条件の平均時間を地区別に表5-35に示す。表にはアイドルの時間をも示す。京都中心部と外周部のアイドル時間は大きく、大阪（約3.2秒）は非常に大きい。加速条件の平均時間は、3地区ともほぼ同様であるが、大阪では高速までの加速時間がやや短かく、急加速となる。定速も大阪は京都（中心部、外周部）よりも各条件とも継続

表5-35 主な速度条件の平均継続時間(秒)の地区別比較

地区	モード 車 速	加 速 条 件 km/h					定 速 条 件 km/h				減 速 条 件 km/h					アイドル
		0→20	0→30	0→40	0→50	30→40	20	30	40	50	50→0	40→0	30→0	20→0	40→30	
京都市中心		5.0	11.7	14.7	19.9	10.3	7.4	12.5	17.5	14.4	11.6	8.1	6.9	4.6	5.7	18.0
京都市外周		5.8	13.0	15.6	19.6	10.0	7.1	11.3	16.5	11.9	12.1	10.8	9.1	4.7	8.5	19.8
大阪市中心		5.9	11.6	14.7	16.1	7.1	6.7	9.9	12.4	10.5	14.3	11.7	9.2	7.0	6.8	31.6

時間がやや短かく、高速走行が京都より少ない。減速では3地区とも大差はないが、京都中心部は各速度条件の継続時間がやや小さく、急減速の状態が多いことを示す。

以上のことから、京都、大阪の都市域での走行では、40Km/hまでの発進加速、40Km/h定速、40Km/hから停止に至る減速がもっとも多く現れ、交通量が増すと20Km/hおよび30Km/hまでの発進加速、30Km/h定速、20Km/hおよび30Km/hから停止に至る減速が多く現れる。また、交通量が少ないと、30～40Km/hでの加速、減速が多くなる。さらに、30、40Km/hまでの発進加速時間約12～16秒、30Km/hから40Km/hへの加速時間約7～10秒、30、40Km/h定速時間約10～18秒、30、40Km/hから0Km/hへの減速と40Km/hから30Km/hへの減速時間が約7～12秒である。それゆえ、この範囲の時間からなる合成走行サイクルが京都、大阪の走行を代表するとして大過がないと考えられる。

表5-36 連続モードの出現比の地区別比較

地区 モードの 組み合わせ	京都中心 %	京都外周 %	大阪中心 %
加速-定速	33.1	30.6	26.8
加速-減速	14.5	11.6	18.5
定速-加速	8.1	9.9	10.5
定速-減速	30.4	28.2	24.5
減速-加速	8.5	12.2	11.8
減速-定速	5.4	7.5	7.9

9-4 走行サイクルのモード数と解析結果の比較

走行実験からの連続した走行モードの組合せ数は京都中心部1,296、京都外周部1,558、大阪2,600で、構成割合は表5-36に示す。定義（第4節）から、アイドルのつぎに加速、および減速のつぎにアイドルとなる組合せはサイクル数と同じであるから除外した。加速のつぎに定速（約27～33%）、定速のつぎに減速（約25～30%）が現れる頻度が大きく、大阪では、加速のつぎに減速（約19%）の頻度がやや大きい。

実測による走行モードの遷移確率から求めた再帰時間確率分布の最大値は、3地区とも $n=4$ で与えられ、アイドルからはじまって、4モード目にはじめてアイドルが最大の確率で京都、大阪とも現れることを示す。また、理論平均再帰時間 μ_1 は京都中心部5.23、外周部6.95、大阪市6.39を示し、確率的に期待されるモード数が μ_1 値に近い整数とすることがもっとも合理的であると導かれた。

9-5 合成走行サイクルの比較

各地区について導かれたもっとも合理的な合成サイクルのモード数、サイクル時間、ならびに走行モードの時間比を表5-37に示す。表にはそれぞれの地区の合成4モードサイクルについても示す。京都中心部と大阪の6モードサイクルはともに0Km/hから40Km/hへの加速、40Km/h定速、40Km/hから0Km/hへの減速およびアイドルから形成

され、それらの継続時間が若干異なる。京都外周部の7モードサイクルは、さらに30Km/hから40Km/hへの加速、30Km/h定速、40Km/hから30Km/hへの減速が追加されたものである。また、合成6モードサイクルはいずれも表に示す合成4モードサイクルのパターンをも包含する。

実測のサイクル時間は、京都中心部59.1秒、外周部85.4秒、大阪79.0秒で、合成7モードサイクル（京都外周）は約7秒大きく、合成6モードサイクル（京都中心、大阪）は約18～22秒大きい。また、合成6、7モードサイクルの時間比はアイドルが約21～33%、定

表5-37

地区別合成モードの比較

サイクル	項目 地区	モード 数	サイクル 時間 秒	時間比 %			
				アイドル	加速	定速	減速
最適 モード	京都市中心部	6	81.1	22.2	36.3	21.6	20.0
	京都市外周部	7	92.5	21.4	27.7	30.1	20.9
	大阪市中心部	6	96.8	32.6	30.4	12.8	24.2
合成 4 モード	京都市中心部		58.3	30.9	25.2	30.0	13.9
	京都市外周部		62.7	31.6	29.4	26.3	17.2
	大阪市中心部		70.4	44.9	20.9	17.6	16.6

速が約13～30%と大きく異なり、加速も約28～36%と異なる。減速は約20～24%で大差がない。

実測の時間比の比較から、京都および大阪の都心部の走行様式は、おおむねアイドル25～40%、加速22～29%、定速18～27%、減速17～20%であるとさきに述べた。すなわち、この範囲の時間比をもつ合成モードが、京都および大阪の代表的走行パターンとしては必要である。京都中心部の6モードサイクルは上記の時間比範囲よりもアイドルがやや小さく、加速がやや大きい。大阪での値は中心部の循環路で測定区域を拡大すれば、アイドルの時間比が本測定値よりも減少すると考えられる。これらのことから、京都中心部について導かれた6モードサイクルB（C）型は、京都および大阪の都市域の平均的走行サイクルとみなしても大過がないと考えられる。また、各地区の合成4モードサイクルは、アイドル、0km/hから40km/hへの加速、40km/hの定速、40km/hから0km/hへの減速から形成され、これらの速度条件は全て京都中心部の6モードサイクルB、C型に包含されている。

9-6 総括

京都中心部と外周部、ならびに大阪中心部での実測結果を比較し、各地区について誘導された合理的走行サイクルから、京都、大阪の都市域の平均的走行サイクルとしてもっとも妥当な合成サイクルを選定した。その概要はつぎのとおりである。

1. 京都、大阪の都市域での平均車速は約17～25km/hで、交通量が増すと低下する。また、走行モードの時間比は、アイドル25～40%、加速22～29%、定速18～27%、減速17～20%で、交通量が増すとアイドルが増し、定速が減少する。さらに、速度条件については、0km/hから40km/hへの加速、40km/h定速条件、40km/hから0km/hへの減速の出現度数および相対時間比がおおむね大きく、交通量が増すと低速度条件が多くなる。

2. 京都中心部、外周部、および大阪中心部について導かれた合理的走行サイクル（6モードおよび7モードサイクル）のサイクル時間、モードの時間比を実測値と比較し、京都中心部の6モードサイクルB（C）型が、大阪の走行条件をもほぼ満足させる。また、このサイクルは4モードサイクルのパターンをも包含し、京都および大阪の都市域の平均的走行サイクルとして大過がないと考えられた。

以上は、京都、大阪での走行実験からもっとも合理的な走行サイクルの誘導法について検討し、大略の走行様式を代表するパターンを導いた。しかし、大阪での実験区域がせまいことなどから、最適の走行サイクルの選定にはさらに検討を要し、また、走行路線の道路特性、交通量の経時変化、実験車、および運転者などと走行サイクルとの関係については詳細な研究が必要である。

第10節 合成サイクルによるシャーシダイナモテスト

10-1 研究目的

自動車排気は運転条件で大きく異なり、排気による汚染の評価には自動車の走行状態にもとづく推定が必要で、米国（本章第1節）では7モード（11モード）サイクルが典型的パターンとされている。³²⁾ わが国では4モードサイクルが提唱⁷⁾された。

本節では、本研究で導かれた合成走行サイクルによる排気濃度の評価について検討した。すなわち、合成サイクルによるシャーシダイナモテストで、排気成分と排気ガス量を測定し、評価係数（荷重係数）の算定から平均サイクル濃度を求め、米国の7モードサイクルおよびわが国の4モードサイクルによる成績と比較した。

10-2 実験方法

本実験で使用したシャーシダイナモメーターおよび非分散型赤外分析計は第三章第3節、ならびに第四章第2節と同じである。

実験車にはプリンススカイライン1500cc、1967年型車（既走行距離約500km）を使用し、等価慣性質量、な

ならびに測定方法には米国のテスト法³⁶⁾ およびわが国のテスト法⁸⁾にしたがった。さらに、排気口で排気流速を熱線風速計（日本科学製、AM3-11）で測定し、2ペン式自記記録計（柳本製、RA25、チャート速度80mm/min）に記録させ、各速度条件の排出ガス量から荷重係数を測定した。また、測定は約30分間のアイドル運転後のホットサイクルとした。

10-3 測定成績ならびに考察

10-3-1 荷重係数（評価係数）の実測

カリフォルニアの排出基準（1959年）は、11個の運転条件からなるこの地域の走行パターンの典型が規定され、各条件の排気ガス量の相対比²³⁾ すなわち、荷重係数（評価係数）が定められた。その後、11条件を連続させた11モードサイクルが形成され、さらに7モードサイクルがテストサイクルとされたが、荷重係数の値はそのまま転用された。³²⁾ この荷重係数は、各運転条件における平均排気ガス排出量（速度）にそれぞれの継続時間比を乗じた値で、走行サイクルの排出合計にたいする各条件の排出割合³²⁾と述べられた。また、わが国でも船舶技研案³⁾の4モードサイクル³⁾と

表5-38 米国およびわが国のテストサイクルについての荷重係数の実測（1,500cc車）

7モードサイクル（米国）

順序	速度条件 mph	平均排出 速度 m/sec	継続時間 秒	実測 荷重係数	指定 荷重係数
1	アイドル	6.2	20.0	0.14	0.042
2	0→25	11.6	11.5	0.15	0.244
3	30	9.2	15.0	0.16	0.118
4	30→15	7.1	11.0	0.09	0.062
5	15	3.6	15.0	0.15	0.050
6	15→30	10.7	12.5	0.15	0.455
7	50→20	5.4	25.0	0.16	0.029

4モードサイクル（わが国）

順序	速度条件 km/h	平均排出 速度 m/sec	継続時間 秒	実測 荷重係数	指定 荷重係数
1	アイドル	3.9	20.0	0.18	0.11
2	0→40	8.3	11.5	0.22	0.35
3	40	6.7	30.0	0.46	0.52
4	40→0	6.6	9.5	0.14	0.02

条件の平均排出速度および平均継続時間をも示す。合成4モードおよび7モードサイクルの荷重係数は米国の7モードやわが国の4モードサイクルの場合とは大きく異なる。

その荷重係数が採用されたがこれらの設定における基礎資料が明らかでない。実験車にアリンススカイライン1,500cc（新車）を使用して測定した各速度条件の平均排出速度の成績は表5-38に示す。表には排出速度に継続時間比を乗じた荷重係数も示すが、試験法⁷⁾³²⁾の値とは大きな相違がみられる。なかでも、アイドル、15mphから30mphへの加速、50mphから20mphへの減速、15mph定速は著しく異なり、4モードサイクルの荷重係数も実測値と指定値が大きく異なる。すなわち、40km/hから0km/hへの減速の指定値は実測の約 $\frac{1}{7}$ と著しく小さい。このように荷重係数が大きく異なる原因については、使用自動車のエンジン容積が関係するともみられるが、本測定の成績からは明らかにできず、今後の検討を要する。

本章（第7～9節）での走行調査から導かれた合成走行サイクルのなかで、平均的走行パターンとしてもっとも妥当な6モードサイクル（4モードおよび7モードサイクル）について、同様の方法で算定した荷重係数は表5-39に示す。表には、各速度

表 5-39 合成走行サイクルの荷重係数の実測値
(1,500 cc車)

合成 サイクル	順 序	速度条件	平均排出速度 m/sec	継続時間 秒	荷重係数
4サ モイ ク ドル	1	アイドル	6.0	18.0	0.22
	2	0→40	13.0	14.7	0.40
	3	40	7.6	17.5	0.28
	4	40→0	6.2	8.1	0.10
6サ モイ ク ドル	1	アイドル	6.0	18.0	0.15
	2	0→40	13.0	14.7	0.26
	3	40→0	6.2	8.1	0.07
	4	0→40	13.0	14.7	0.26
	5	40	7.6	17.5	0.19
	6	40→0	6.2	8.1	0.07
7サ モイ ク ドル	1	アイドル	6.0	19.8	0.18
	2	0→40	9.2	15.6	0.22
	3	40	7.6	16.5	0.20
	4	40→30	6.9	8.5	0.09
	5	30	5.0	11.3	0.09
	6	30→40	7.4	10.0	0.12
	7	40→0	6.2	10.8	0.10

10-3-2 排気濃度の算定

ジャーシーダイナモテストによるCOとn-hexane濃度を非分散型赤外分析計で測定し、前述(10-3-1)で決定した荷重係数から平均排気濃度を算出した。米国の7モードサイクル、およびわが国の4モードサイクルの規定および

表 5-40 実測および指定荷重係数による

CO, n-hexane値(1500 cc車)

サイ クル	順 序	速度条件 km/h mph	指定荷重係数		実測荷重係数	
			CO %	n-hexane ppm	CO %	n-hexane ppm
米 国 7 モ ー ド サ イ ク ル	1	アイドル	0.20	20	0.66	67
	2	0→25	0.76	115	0.42	71
	3	30	0.13	25	0.18	34
	4	30→15	0.17	143	0.24	208
	5	15	0.17	19	0.50	57
	6	15→30	1.48	141	0.39	46
	7	50→20	0.12	128	0.67	706
		合 計	3.05	591	3.06	1189

わ が 国 の 4 モ ー ド サ イ ク ル	1	Km/h アイドル	0.52	47	0.85	77
	2	0→40	0.95	175	0.59	110
	3	40	0.83	135	0.74	120
	4	40→0	0.05	54	0.32	378
		合 計	2.35	411	2.50	685

実測荷重係数による排気濃度は表 5-40 に示す。7モードサイクルの規定係数ではサイクル値がCO 3.05 %, n-hexane 591 ppmを示し、実測係数ではCOが3.06 %で規定値とほとんど同じであるが、n-hexane 値は1,189 ppmと規定値のほぼ2倍に達する。これは50 mph から20 mph への減速条件の規定係数(0.029)がきわめて小さいが、実測係数(0.16)は約5倍も大きく、n-hexane が著しく大きい値(706 ppm)をとるためである。

わが国の4モードサイクルの規定係数でのサイクル値はCO 2.35 %, n-hexane 411 ppmで、7モードサイクルの規定係数よりも両成分値ともやや低い。実測係数ではCO 2.50 %, n-hexane 685 ppmと規定係数よりもかなり高い。この場合にも、40 Km/hから0 Km/hへの減速条件の規定係数(0.02)にく

らべて実測係数 (0.14) が約7倍も大きいことが原因する。このように、減速条件の規定荷重係数が本測定の実測係数より $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{7}$ である理由にはエンジンの気筒容積が関係するとも考えられるが、本測定からは明らかにできず今後の検討を要する。

本研究で誘導した合成走行サイクルによる排気濃度の測定結果は表5-41に示す。表には京都市中心部の4モードサイクル、および6モードサイクル、ならびに外周部の7モードサイクルについて示す。各速度条件の荷重係数は前記の算定による値である。合成4モードサイクルによる排気濃度はCO 2.94%, n-hexane 531 ppm で、米国の7モードサイクル (規定係数) よりわずかに低い。合成6モードサイクルではCO 2.95%, n-hexane 604 ppm で米国の7モードサイクル (規定係数) とほぼ同程度である。合成7モードサイクルはCO 2.76%, n-hexane 612 ppm で、合成サイクルのなかでCO がもっとも小さく、n-hexane がもっとも大きい。一方、わが国の4モードサイクルによるCO、n-hexane 値は合成サイクルによる値とかなり大きな相違を示す。

以上の合成4モード、6モード、7モードのいずれを用いても、CO および n-hexane 値には大差なく、合成6モードサイクルは合成4モードのパターンを包含し、京都、大阪での自動車走行の代表としてもっとも妥当とみられたこと (第9節) から、この合成6モードサイクルによる排気評価が適当と考えられ、米国の7モードサイクル (規定係数) による評価とも大差がない。

わが国の他都市の交通事情は、本研究で実測した地域とは異なり、自動車の走行パターンも異なるとみられるが、本研究で導かれた合成6モードサイクルを他都市に適用した大気汚染の評価は、わが国の4モードサイクルよりも有利と推測される。すなわち、交通量が増大すると、走行モードの時間比でアイドルの割合が増大し、定速の割合が減少し、低速度の走行条件が多く現れるから、わが国の4モードサイクルのパターンは益々現実から離れたものとなる。

10-4 総 括

本節では、京都および大阪での走行実験から本章で誘導した合理的な合成サイクルについて、シャーシーダイナモテストを行なった。

実験車はプリンススカイライン 1,500 cc, 1967年型車 (新車) である。

まず、米国の自動車排気試験法の7モードサイクル、およびわが国の4モードサイクルの荷重係数について検討し、各合成走行サイクルについても荷重係数を算定して排気濃度を測定した。それらの結果を要約するとつぎのとおりである。

1. 米国の7モードサイクルおよびわが国の4モードサイクルに指示されている荷重係数は、実測係数と大きく異なり、7モードサイクルではアイドルと15 mph 定速の規定係数は実測係数の約 $\frac{1}{3}$ 、50 mph から20 mph への減速で約 $\frac{1}{5}$ である。また、0 mph から25 mph への加速の規定係数は実測係数の約6倍、15 mph から30 mph への加速では約3倍を示す。4モードサイクルでは、40 km/h から0 km/h への減速の実測係数が指定係数の約7倍も大きい。

2. 荷重係数の規定および実測値を用い、7モードサイクルと4モードサイクルによる排気濃度を測定した。CO 値に

表5-41 合成サイクルによる排気測定の成績

サイクル	順序	速度条件 km/h	CO %	n-hexane ppm
4 モード サイ クル	1	アイドル	1.03	95
	2	0→40	1.12	188
	3	40	0.45	73
	4	40→0	0.34	175
		合 計	2.94	531
6 モード サイ クル	1	アイドル	0.71	65
	2	0→40	0.73	122
	3	40→0	0.24	123
	4	0→40	0.73	122
	5	40	0.30	49
	6	40→0	0.24	123
		合 計	2.95	604
7 モード サイ クル	1	アイドル	0.85	77
	2	0→40	0.62	103
	3	40	0.32	52
	4	40→30	0.28	197
	5	30	0.23	31
	6	30→40	0.12	37
	7	40→0	0.34	155
		合 計	2.76	612

については両係数による大差がなく、7モードサイクルのn-hexane は実測係数による値が規定係数による値の約2倍を示す。また、4モードサイクルでも実測係数によるn-hexane 値は規定係数による値よりも約200ppm高くなる。

3. 合成4、6、7モードサイクルによるCO(2.76~2.95%)は大差はなく、米国の7モードサイクル(規定係数3.05%)とも近い。合成サイクルによるn-hexane 値は、6、7モードサイクル(604~612ppm)の値が米国の7モードサイクル(591ppm)と大差なく、合成4モードサイクル(531ppm)はやや低い。わが国の4モードサイクル(規定係数)によるCOとn-hexane(2.35%, 411ppm)はこれらにくらべてかなり小さい。

京都、大阪市での平均的な走行サイクルとしてもっとも妥当な合成6モードサイクルによる排気評価は米国の7モードサイクルによる値と大差がなく、都市の走行実状を考慮したより有利な評価サイクルと考えられる。

以上は、京都、大阪の走行実験から導かれた合理的走行サイクルと、従来からのテストサイクルによる排気評価による差を検討したもので、他都市へも応用するには走行サイクル、車種による評価係数などについてさらに検討する必要がある。

第11節 合成サイクルによる排出量の推定

11-1 研究目的

自動車排気による大気汚染の評価は運転条件における排出濃度と量、走行距離あたりの排出量、大気中の濃度、都市面積あたりの排出量などの方法でなされる。⁵⁰⁾ しかし、自動車数や燃料消費量、都市面積あたりの排出量などによる評価には、各要素の算定基準の違いで汚染度が大きく異なる。ロスアンゼルス⁵¹⁾では、運転条件の平均の排気量と濃度を測定し、ガソリン消費量と走行時間比の平均から全域での1日排出量を算定した。わが国でも、大阪市内で推定値⁴⁵⁾が報じられている。

本章のこれまでの研究で、京都、大阪での走行状態を代表する合理的な走行サイクルを導いた。本節では合理的走行サイクルにより、京都市域での排出量の推測を目的として検討した。すなわち、合成走行サイクルによるCOと炭化水素の排出量をロードテスト(第三章)の成績から求め、市内の交通密度差を考慮して全域の排出量を推定した。

表5-42 主なる速度条件における排出量
(プリンス、1,500cc、1961年型;ロードテスト)

モード	速度条件 Km/h	トランス ミッション の位置	所要時間 秒	加減速度 Km/h/sec	排気量 ℓ/sec	CO		炭化水素		供給燃料に たいする炭 化水素の排 出比 Wt%
						濃度 %	排出量 g/min	濃度 ppm	排出量 g/min	
アイドル	0	中立	—	—	4.69	6.5	27.6	5076.2	3.43	13.2
加速	0→20	第二速	3.28	6.13	10.48	5.0	39.3	4447.9	9.62	5.4
	0→40	第二速	4.92	8.13	11.92	3.6	32.1	2746.3	7.61	5.2
	10→30	第二速	4.16	4.81	13.40	3.9	39.2	3755.1	7.85	5.2
	20→40	第三速	7.50	2.73	12.59	3.3	31.2	3144.4	6.87	4.8
	30→40	第四速	6.60	1.65	11.78	5.8	51.3	2573.3	5.55	3.2
定速	20	第三速	—	—	10.33	4.9	27.4	2516.7	2.40	4.7
	30	第四速	—	—	7.17	4.6	26.6	2214.9	2.09	4.0
	40	第四速	—	—	9.83	3.8	27.5	1463.4	1.81	2.8
減速	20→0	第二速	5.22	3.98	10.5	7.3	33.9	8225.2	0.52	14.9
	30→0	第三速	7.45	1.18	2.12	6.6	10.5	4711.8	0.96	39.5
	40→0	第四速	8.97	4.45	2.38	6.3	11.3	3567.3	1.01	49.2
	40→20	第四速	8.11	2.36	1.98	7.9	11.8	6560.8	0.80	10.2
	50→30	第四速	8.66	2.51	3.18	6.6	15.7	5827.2	1.13	15.4

11-2 合成サイクルによる排出量

第三章では、わが国の乗用車の気筒容積別分布でもっとも大きい割合を占める1,500ccクラスの実験車を実際の街路で走行させて排気を測定した。すなわち、都市大気汚染に貢献度が大きい⁵²⁾中古車の運転条件を系統的に規制して、排気の無機ガス、炭化水素、燃料消費、排出ガス量などを測定した。それらの成績を本章で導いた合成走行サイクルの各速度条件に適用した。排出ガス量、COと炭化水素の排出量および供給燃料にたいする炭化水素の排出重量比を合成サイクルの条件について表5-42に示す。第三章の街路走行での加減速度が合成サイクルとは同一ではないが、本節では加速、減速時のCOと炭化水素排出量には関係なく、速度条件の継続時間で排出量がきまるとした。

京都中心部の合成4モード、5モードおよび6モードサイクル、京都外周部の合成4モード、6モードおよび7モードサイクル、大阪中心部の合成4モードと6モードサイクルについて、構成速度条件の継続時間と排出量から求めた各合成サイクルの排出量は表5-43に示す。表にはわが国の4モードサイクルについても示す。京都中心部および外周部の合成4モードサイクルの排出量がCO約26～27g、炭化水素3.6～3.8gとほぼ同程度で、大阪中心部の合成4モードサイクルはやや大である。京都、大阪での代表的パターンとしてもっとも妥当な京都中心部の合成6モードサイクルB(C)型はサイクル時間が長く、排出量はCO約35g、炭化水素5.6gを示す。京都外周部の合成6モードサイクルB(C)型はCO約37g、炭化水素6.0gで外周部の合成7モードサイクル

表5-43 各合成サイクルによるCO、および炭化水素の排出量

地区	走行サイクル	型式	サイクル 時間 (秒)	燃料消費 (g)	CO (g)	炭化水素 (g)	
京都市中心部	4モードサイクル	A	58.3	450.9	25.7	3.6	
		B	60.2	389.0	25.0	3.6	
		C	60.6	471.4	31.8	4.1	
	5モードサイクル	A	63.6	473.4	27.1	5.0	
		B	66.6	515.6	34.1	4.6	
		C	81.1	645.4	35.1	5.6	
6モードサイクル	D	70.3	528.7	29.4	3.7		
	E	66.3	534.2	29.8	4.0		
	京都市外周部	4モードサイクル	A	62.7	446.8	27.1	3.3
B			74.6	530.4	35.4	4.8	
C			89.1	678.5	37.4	5.7	
6モードサイクル		D	82.8	568.4	33.8	4.3	
		E	81.4	653.8	42.8	4.8	
		7モードサイクル	A	98.5	728.0	40.2	7.0
B			105.0	840.7	45.0	6.4	
C			89.0	593.2	44.0	4.9	
D			81.3	703.3	43.6	6.5	
E			90.7	617.9	36.7	6.0	
F			92.5	692.6	42.8	5.3	
大阪市中心部		4モードサイクル	G	94.8	648.7	31.0	3.1
	H		92.3	577.6	36.8	7.2	
	A		70.4	473.1	35.3	4.2	
	6モードサイクル	B	81.4	521.4	30.8	5.0	
		C	96.9	676.1	40.4	6.3	
		D	86.4	537.4	35.9	4.7	
わが国の4モードサイクル	4モードサイクル	E	77.8	542.5	36.3	4.7	
					71.0	548.4	31.2

はサイクルの型で排出量が大きく異なる。大阪の合成6モードサイクルB(C)型の排出量はCO約40g、炭化水素6.3gを示す。わが国の4モードサイクルはCO約31g、炭化水素3.6gとなり、京都、大阪の合成4モードサイクルにくらべると、排出ガス量がもっとも大きく、COの排出量は大阪の合成4モードと大差はなく、炭化水素の排出量は京都中心部の合成4モードと同程度で、CO、炭化水素とも京都、大阪の走行を代表する合成6モードサイクルB、C型（京都中心部）よりやや小さい。

排出量のモード別構成（排出比）は京都中心部の合成4モードサイクルのCOがアイドル、加速、定速（約31～32%）がほとんど等しく、減速（約6%）がきわめて小さい。炭化水素は加速時に過半（約52%）が排出され、減速時がもっとも小さい。わが国の4モードサイクルのCOは定速44%、加速約21%で、炭化水素は加速（約39%）がもっとも大きい。

京都中心部と外周部の合成6モードサイクルB(C)型はほぼ同様で、COはアイドル約24%、加速約44～45%、定速約20～23%、減速約9～11%、炭化水素はアイドル約19%、加速約55～67%、定速約10～17%、減速約5～7%を示し、炭化水素の過半、COの約4割が加速時に排出される。大阪の合成6モードサイクルはアイドルがCO約36%、炭化水素約30%で、加速がCO約39%、炭化水素約59%ともっとも大きく、定速、減速は京都中心部の6モードサイクルと大差がない。京都外周部の合成7モードサイクルは6モードサイクルと大差はないが、定速時のCOと炭化水素の排出割合がやや大きい。外周部では交通量が中心部より少なく、定速走行の時間比が増大するためである。

実測にもとづく合成走行サイクルでは、いずれも加速時の排出割合がもっとも大きく、わが国の4モードサイクルは定速の割合がもっとも大である。また、減速時のCOおよび炭化水素濃度は他の条件より著しく高いが、走行サイクルでの減速時間が著しく短かく、排出ガス量が非常に小さい。このため、未燃焼成分の排出絶対量は他のモードにくらべて大巾に低い。アイドルの時間比がかなり大きく（実測では約25～40%）、排出絶対量も大きい。加速時にはエンジンの回転数が急に高速まで上昇するために、排出ガス量が急増し、未燃焼成分の排出絶対量が最大を示す。これらのことから、都市の大気汚染の防止には、アイドルと加速条件がもっとも少なくなるような交通対策を都市計画に織り込む必要がある。

11-3 都市域における排出量の推測

11-3-1 ロスアンゼルス の例

ロスアンゼルスの大気汚染防止局（APCB）⁵¹⁾では、この地域の代表的な自動車グループの運転条件（アイドル、加速、定速、減速）について、炭化水素（n-hexane）、窒素酸化物、COの平均濃度、平均排出ガス量、ならびに走行モードの時間比の測定と、この地域全体で消費されるガソリン量の推定値から排出される汚染物量を算定した。実際にはつぎのような方法がもっとも簡単で、かつ実用的であると述べた。

まず、合成排気サンプルとして汚染物の平均濃度を次式で計算した。

$$\frac{(r_i \cdot C_i) + (r_a \cdot C_a) + (r_c \cdot C_c) + (r_d \cdot C_d)}{r_i + r_a + r_c + r_d} = C \quad \dots\dots\dots (5-27)$$

ここで、

C_i = アイドルにおける汚染物の平均濃度, ppm (V/V) . . . r_i ; 時間比

C_a = 加速における " , " . . . r_a ; " "

C_c = 定速における " , " . . . r_c ; " "

C_d = 減速における " , " . . . r_d ; " "

C = 都市走行にシミュレートした合成排気サンプル中の汚染物の平均濃度, ppm (V/V)

さらに、次式から自動車のあるグループの1日あたりの排出量を求めた。

$$T = \frac{C \cdot M \cdot V \cdot G}{379 \times 2000} \quad \dots\dots\dots (5-28)$$

ここで、

T = 自動車のあるグループからの1日あたりのある汚染物の排出量, トン/日

M = 汚染物の分子量

V = 自動車の正常な運転時における燃料1ガロンの燃焼による平均排気ガス量, ft^3

379 = 1気圧, 60°Fにおけるガソリンの分子容積, ft^3

G = ロスアンゼルス地方で自動車に燃焼するガソリンの体積, 1,000,000 ガロン/日

このような方法から1961年1月のロスアンゼルス郡では登録自動車数295万台、ガソリン消費量(年間平均)600万ガロン/日として、表5-44の結果を報じた。用いられた自動車のモード別排出濃度は第三章で述べた。SO₂

表5-44 ロスアンゼルスにおける自動車からの1日あたりの排出量⁵¹⁾ (1961年1月 トン/日)

排 出 源	有 機 ガ ス			無 機 ガ ス				
	炭化水素	アルデヒド	ケトン	窒素酸化物	SO ₂	CO	他の無機ガス	エアロゾル
自 動 車 (ガソリン)	965	10	12	250	19	6850	>0.1	27
トラックとバス (ガソリン)	215	3	4	80	6	2100	>0.1	8
トラックとバス (ディーゼル)	8	>0.1	>0.1	8	2	2	>0.1	2
船 と 鉄 道 (ディーゼル)	>0.1	>0.1	>0.1	>0.1	>0.1	>0.1	>0.1	>0.1

排出は南カリフォルニアでの市販ガソリンの平均S含量(レギュラー; 0.124%(Wt), プレミアム; 0.066%(Wt))から、ガソリン中の全S量が燃焼で全てがSO₂になると仮定した値である。さらに、この方式で、カリフォルニア全体の排出量の経年変化の算定や将来予測もなされた。^{26) 52)}

わが国でも、大阪市について、自動車数(約39万台)、車種別1台あたり燃料消費量、走行1kmの推定から算定すると1日あたりの排出量はCO 599トン、炭化水素66トン、窒素酸化物22トンになると述べられた⁴⁵⁾が、算定過程は公表されていない。

11-3-2 京都市における排出量の推定

京都での走行実験から導いた合成走行サイクルを用いて、市街域で排出されるCOと炭化水素量を推測した。

ただし、市内を走行する自動車の車種分布、車種による走行様式と汚染物の排出などについての資料がないために、ここでは、市街域を走行するガソリン車は本研究に用いた1,500ccクラスで代表できると仮定し、ディーゼル車(バス、トラック)、LPG車は考慮せず、京都市域には1日約30万台のガソリン車が走行しているとして排出量の概算を行った。

また、平均的な自動車の走行サイクルには前述(第9節)の誘導から、市の中心部は合成6モードサイクルB(C)型(サイクル時間81.1秒、排出量CO 35.1g、炭化水素5.6g)、外周部は合成7モードサイクルH(D)型(サイクル時間92.5秒、排出量CO 42.8g、炭化水素5.3g)を適用した。

ここで

f : 市の中心部の走行で排出される量, g/h/台

k : 市の外周部の走行で排出される量, g/h/台

S_1 : 中心部の面積, km²

S_2 : 外周部の面積, km²

S : 市の全面積 ($S = S_1 + S_2$), km²

x : 中心地域に存在する自動車数, 台

y : 外周地域に存在する自動車数, 台

N : 市の全域における自動車数 ($N = x + y$), 台

とすると、中心部での全排出量は fx g/hであるから、市全域でガソリン自動車1台の1km²あたりの平均排出量、 T (g/km²/台/h) はつぎのように示される。

$$T = \frac{fx + ky}{(S_1 + S_2)(x + y)} = \frac{f + k \frac{y}{x}}{(S_1 + S_2)(1 + \frac{y}{x})} \quad \dots\dots\dots (5-29)$$

ここで、中心部と外周部の交通量比を単位面積あたりの台数の比、すなわち交通密度比であらわすために

$$\rho = \frac{y/S_2}{x/S_1} = \frac{y \cdot S_1}{x \cdot S_2} \quad \dots\dots\dots (5-30)$$

$$S = S_1 + S_2 \quad \dots\dots\dots (5-31)$$

とすると、式5-29はつぎようになる。

$$T = \frac{1}{S} \left(\frac{f + k \frac{S_2}{S_1} \rho}{1 + \rho \frac{S_2}{S_1}} \right) \quad \dots\dots\dots (5-32)$$

ゆえに

$$T = \frac{S_1 f + S_2 k \rho}{(S_1 + S_2) (S_1 + S_2 \rho)} \quad \dots\dots\dots (5-33)$$

となる。

ここで、中心部と外周部における自動車の走行パターンを如何に選ぶかによって排出量の推測値が異なるから、合成サイクルのなかでもっとも妥当とみられた中心部の6モードB(C)型、外周部の7モードH(I)型を適用する。

走行実験を行なった市の外周路線近辺を含む市の面積を約61km²とし、中心部の実験域の面積を約15km²とすると、 $S = 61\text{km}^2$ 、 $S_1 = 15\text{km}^2$ 、 $S_2 = 46\text{km}^2$

であり、中心部と外周部におけるCOと炭化水素の排出速度 f 、 k は表5-45のとおりとなる。

それゆえ、COの排出量 T_{CO} (g/h/台/km²)は、式5-33から

$$T_{CO} = \frac{23.37 + 76.64 \rho}{915 + 2806 \rho} \quad \dots\dots (5-34)$$

また、炭化水素の排出量 T_{HC} (g/h/台/km²)は

$$T_{HC} = \frac{3.74 + 9.48 \rho}{915 + 2806 \rho} \quad \dots\dots\dots (5-35)$$

となる。

これらの式はつぎのように整理され、

$$T_{CO} = \frac{833 \times 10^{-5} + 2731 \times 10^{-5} \rho}{3261 \times 10^{-4} + \rho} \quad \dots\dots\dots (5-36)$$

$$T_{HC} = \frac{133 \times 10^{-5} + 3381 \times 10^{-5} \rho}{3261 \times 10^{-4} + \rho} \quad \dots\dots\dots (5-37)$$

いずれも、直角双曲線の一部を示し、 T_{CO} についての漸近線は0.02731、 T_{HC} についての漸近線は0.00338である。式5-36と37で、 $\rho = 0$ から5までをプロットすると図5-25のとおりである。

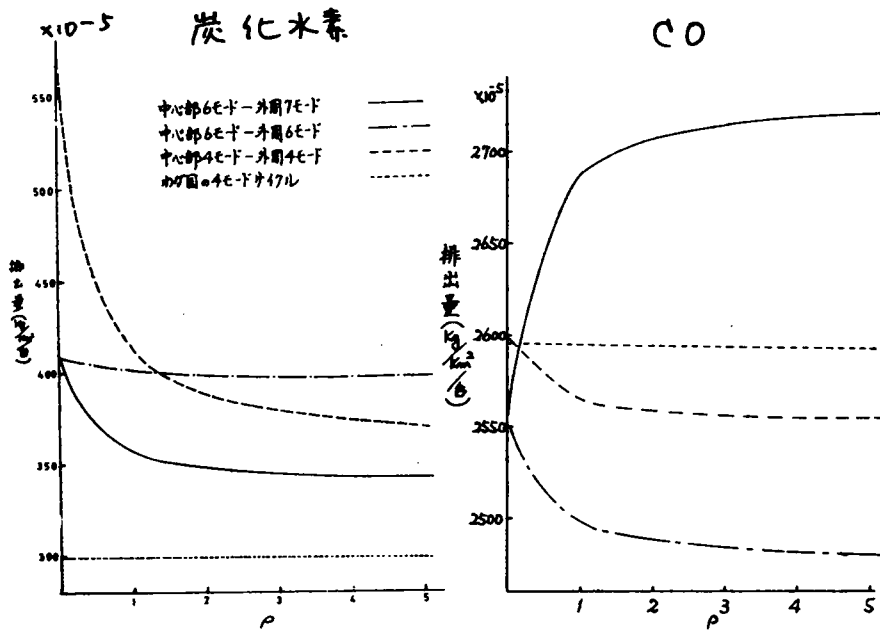
さらに、自動車の平均走行サイクルを中心部6モード—外周部6モード、中心部4モード—外周部4モード、中心部外周部ともわが国の4モードサイクルとした場合についても算定し、それぞれについて図にプロットした。

表5-45

各サイクルによるCOおよび炭化水素の排出率
g/h

走行サイクルの 組み合わせ		CO		炭 化 水 素	
中心部	外周部	f	k	f	k
6	7	1.558	1.666	0.249	0.206
6	6	1.587	1.556	0.222	0.218
4	4	1.558	1.511	0.249	0.242
わが国の4モード		1.582	1.582	0.183	0.183

図5-25 炭化水素およびCOの排出量 (kg/Km²/台)



中心部6モード — 外周部6モードの場合には、

$$\left. \begin{aligned} T_{CO} &= \frac{833 \times 10^{-5} + 2477 \times 10^{-5} \rho}{3261 \times 10^{-4} + \rho} \\ T_{HC} &= \frac{133 \times 10^{-5} + 397 \times 10^{-5} \rho}{3261 \times 10^{-4} + \rho} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5-38)$$

中心部4モード — 外周部4モードの場合には、

$$\left. \begin{aligned} T_{CO} &= \frac{848 \times 10^{-5} + 2551 \times 10^{-5} \rho}{3261 \times 10^{-4} + \rho} \\ T_{HC} &= \frac{187 \times 10^{-5} + 357 \times 10^{-5} \rho}{3261 \times 10^{-4} + \rho} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5-39)$$

である。

市の中心部、外周部ともわが国の4モードサイクルを適用すると、

$$\left. \begin{aligned} T_{CO} &= \frac{846 \times 10^{-5} + 2593 \times 10^{-5} \rho}{3261 \times 10^{-4} + \rho} \\ T_{HC} &= \frac{97 \times 10^{-5} + 298 \times 10^{-5} \rho}{3261 \times 10^{-4} + \rho} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5-40)$$

である。

中心部6モード — 外周部7モード、中心部外周部とも6モードおよび合成4モードとした場合には、 ρ が0から3の範囲でCOの排出量 (kg/Km²/台/h) は大きく変化するが、わが国の4モードサイクルを全域に適用するとほぼ一定である。炭化水素の排出量 (kg/Km²/台/h) も中心部6 — 外周部7モード、および両者とも合成4モードとした場合には、 ρ が0から3の間に大きく変化する、他はほぼ一定である。

すなわち、中心部と外周部の自動車密度が異なることは走行状態が同じでないことを示し、自動車からのCO、炭化水素の排出量も異なるのは当然である。それゆえ、全市域を同一の走行サイクルで代表して排出量を算定する方法は適当で

なく、交通密度を考慮して導いた合成サイクルを組合わせて排出量を評価する方法がより实际的である。

また、上記の算定に用いた ρ 値と中心部面積 S_1 、外周部面積 S_2 、および中心部の自動車数 x 、外周部の自動車数 y の関係は図5-26に示す。

京都市内の地域別交通密度、市の中心部および外周部を走行する平均自動車数などの資料が十分でないから、つぎのように交通状態を仮定して市全域における自動車からのCOと炭化水素の排出量を測定した。

ここで、中心部の面積 $S_1 = 15 \text{ km}^2$ 、外周部の面積 $S_2 = 46 \text{ km}^2$ 、中心部における自動車数 x 台/日、外周地区内の自動車数 y 台/日とし、 y/x が0.2~1.0の範囲で、市全域のガソリン自動車数を20~30万台/日と仮定すると、排出量は図5-27に示すとおりとなる。この場合、自動車の平均走行様式は中心部を合成6モー

図5-26 交通密度比

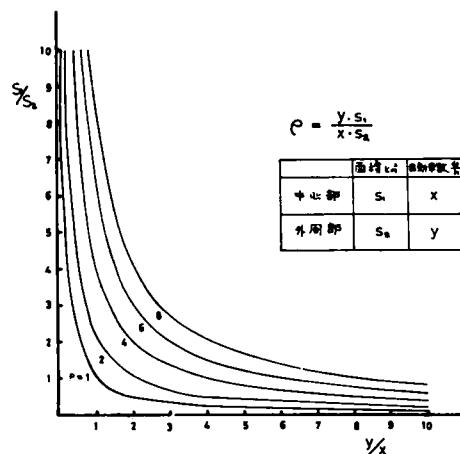
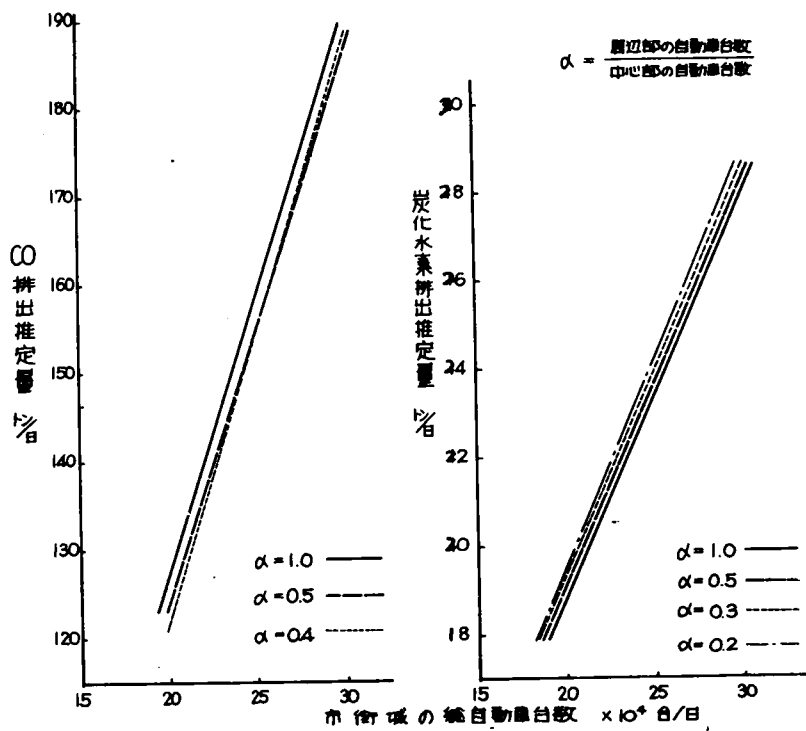


図5-27 京都市街域における排出量の推定値(トン/日)



ドB型、外周部を合成7モードH(I)型とした。自動車数20万台/日での排出量はCO 124.0~127.2トン/日、炭化水素17.8~18.8トン/日で、30万台/日における排出量はCO 186.0~190.8トン/日、炭化水素26.8~28.2トン/日を示し、いずれも中心部と外周部における自動車数の比によって若干異なる。

これにたいして、大阪市⁴⁵⁾について約39万台/日の自動車からCO 59.9トン/日、炭化水素66トン/日と述べられており、本研究による推測値にくらべてCO、炭化水素とも非常に大きい。しかし、本研究ではシーゼル車からの排出、およびガソリン車は全て1,500ccクラスと仮定した値であり、大阪での推算資料が公表されていないことなどから厳密には比較できない。

以上の推測は交通密度、自動車数を仮定して求めた概算値であるが、市全域における交通状況、自動車分布、ならびに交通量の時刻、年間変化などの資料が整備されるにつれて本研究で用いた手法でより精度の高い推測が可能である。

11-4 総 括

都市域で、自動車からのCOや炭化水素の排出量を推定するために、走行パターンと自動車密度を考慮した方法を検討した。その概要はつぎのとおりである。

1. 自動車からのCOと炭化水素の排出は走行サイクルのパターンで大きく異なり、本研究で導いた合成サイクルと、実測の排気測定から合成サイクルの排出量を算定した。京都中心部と外周部の合成4モードサイクルはCO約26～27g、炭化水素3.6～3.8gとほぼ同様で、大阪の合成4モードサイクルはCO約30g、炭化水素4.2gとやや大きい。京都中心部の合成6モードサイクルはCO約29～35g、炭化水素3.9～5.6gで、京都、大阪での走行の代表としてもっとも妥当なB(C)型の値がもっとも大きい。京都外周部の合成7モードサイクルはCO約32～55g、炭化水素3.1～7.6gで、大阪の合成6モードサイクルはCO約34～40g、炭化水素4.7～6.3gで、わが国の4モードサイクルはCO約31g、炭化水素3.6gを示す。

2. 走行サイクルのCOと炭化水素のモード別排出割合はサイクルのパターンでかなり大きな相違を示す。合成4モードサイクルでは加速時(約31～52%)の排出が大きく、わが国の4モードサイクルでは、定速時(約25～44%)が大である。京都中心部、外周部および大阪の合成6モードサイクルB(C)型は、いずれも加速時(約43～64%)の排出が最大割合を占め、アイドル(約23～36%)がこれにつく。定速(約14～23%)はやや低く、減速(約9～11%)がもっとも小さい。

3. 京都中心部と外周部の自動車数、面積から、自動車密度を考慮して市街全域でのCOと炭化水素の排出量の推定法を検討した。適用する走行パターンで排出推定量の評価が異なり実測から平均的走行サイクルとして導かれた中心部6モードB(C)型、外周部7モードH(I)型を用い、市街地域の自動車数を20～30万台/日として排出量を推定した。COと炭化水素の全市域における排出量は、中心部と外周部の自動車密度で若干異なり、30万台/日では、CO186.0～190.8トン/日、炭化水素26.8～28.2トン/日と推測された。ただし、ジーゼル車(バス、トラック)は考慮せず、自動車は全て本研究に用いた実験車(1,500cc)と仮定した値である。

以上は、走行実験から導かれた平均的走行サイクルと街路における排気測定の成績にもとづく推定で都市の交通実状にもとづく平均的走行サイクル、および自動車密度を考慮した推定法で、都市域全体を単一サイクルで代表させた評価法にくらべてより実際的な方法である。また、車種の分布と排出量、自動車密度などの十分な資料と本研究の手法からさらに精度の高い推定が可能である。

第12節 結 論

自動車の排気組成は運転条件で大きく異なるから、排気による大気汚染の予測、排出規制、ならびに都市計画的対策のうえで、排出実情を把握する必要がある。カリフォルニアでは平均的走行パターン(11モード、7モードサイクル)が規定され、全米の排気規制にもそのまま採用された。わが国では都市走行の代表として4モードサイクル案が提唱された。

本章では、都市における自動車の平均的走行パターンの合理的な選定法を検討し、走行実験の成績を統計的手法で解析し、京都、大阪での自動車走行を代表するパターンを選定した。また、実測から導かれた合理的走行サイクルによるシャシーダイナモテストから、従来のテストサイクルによる評価と比較した。さらに、もっとも妥当な平均的合成サイクルを適用して、京都市全域における自動車からのCOと炭化水素の排出量を推定した。本章の概要はつぎのとおりである。

第1節は、本章での研究目的を述べ、第2節ではカリフォルニア基準の平均走行様式の設定過程と11モードサイクル、7モードサイクルへと発展した経過を略述した。また、テストサイクルの評価係数の概念についてもふれ、わが国の4モードサイクルならびにヨーロッパで提唱されている走行パターンも述べた。

第3節、および第4節では、京都中心部と外周部、ならびに大阪中心部における走行路線の選定方法を述べた。第5節では、走行実験の成績にたいする解析方法と、単純マルコフ連鎖理論を適用した合理的走行サイクルの誘導について述べた。

第6節では、京都中心部の走行実験の成績を述べた。すなわち、交差点の交通流特性から選んだ30路線の走行で、走行モードの時間比がアイドル30.3%、加速25.8%、定速26.9%、減速17.0%、平均車速20.8km/h、サイクル時間59.1秒を示した。速度条件については、0km/hから40km/hへの加速、40km/h定速、40km/hから0km/hへの減速の出現頻度がもっとも多く、もっとも期待されるモード数が5または6である。さらに、実測の速度条件から合成4モードサイクルを包含する合成6モードB(C)型が、もっとも妥当な平均的走行サイクル(時間比アイドル22.2%、加速36.3%、定速21.6%、減速20.0%)である。第7節では、京都旧市街の外周部における測定結果について述べた。実測による走行モードの時間比は、市の中心部とくらべてアイドルがやや小さく、加速がやや大きい。平均車速は中心部より約5km/h大きく、サイクル時間(85.4秒)も大きい。出現頻度が最大を示す速度条件は市の中心部と同様であるが、高速条件がやや増える。実測からもっとも期待されるモード数は7で、合成7モードサイクルH(I)型がもっとも妥当な平均的サイクルで、時間比はアイドル21.4%、加速27.7%、定速30.1%、減速20.9%を示した。第8節では、大阪中心部の循環路線の走行で、モードの時間比は京都にくらべてアイドル(40.0%)が著しく大きく、定速(18.2%)が大巾に減少した。また、平均車速(17.0km/h)が非常に小さい。速度条件の出現傾向も京都とは異なり、低速条件が多く、もっとも期待されるモード数は6で、合成6モードサイクルB(C)型がもっとも妥当な平均的サイクルで、時間比はアイドル32.6%、加速30.4%、定速12.8%、減速24.2%を示した。第9節では、京都中心部と外周部、ならびに大阪の合成走行サイクルを比較検討し、京都中心部の合成6モードサイクルが京都、大阪の都市走行様式を代表するとみて大過のないことを示した。

第10節では、合成走行サイクルを用いたシャシーダイナモテストで排気を測定した。同時に、合成サイクル、および従来のテストサイクルの評価係数を測定した。実測による評価係数は従来の指定値と大きく異なり、とくに、減速条件での相違が著しく、その原因に実験車の気筒空積などが関係するとも考えられるが、さらに検討を要する。実測荷重係数を用いるとCOは指定係数による値と大差はなく、n-hexaneは指定係数による値のほぼ2倍を示す。合成4、6、7モードサイクルによるCO(2.76~2.95%)、ならびに合成6、7モードサイクルによるn-hexane値(604~612ppm)はともに米国の7モードサイクルによる値と大差がない。

第11節では、都市域における自動車からの排出量の算定法について検討し、交通状況から、平均的走行サイクルを地域別に求め、その組合わせから全域での排出量を算定する方法が、単一サイクルでの算定よりも実証的であることを示した。さらに、京都中心部に合成6モードB(C)型、外周部に合成7モードH(I)型を適用し、市全域における自動車数を20~30万台/日とし、中心部と外周部の交通密度を考慮して排出量を算定した。市全域でのガソリン自動車からの排出量はCO 186.0~190.8トン/日、炭化水素26.8~28.2トン/日と推測された。

本研究では京都における自動車の車種の分布と排出量、交通量の経時変化などの資料が十分でなく、大まかな仮定を設けて算定したがこれらの点についての今後の検討でより高い精度での推測が可能となる。

参 考 文 献

- 1) Haagen-Smith, A.J., Fox, M.M.; Photochemical Ozone Formation with Hydrocarbons and Automobile Exhaust, *Air Repair*, 4(3), 105-108, 1954
- 2) Atkisson, A.A., Jr.; National Motor Vehicle Contaminants Control Requirement, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 12(5), 234-243, 1962
- 3) 橋本道夫; 自動車排気ガスによる大気汚染問題, *内燃機関*, 6(64), 17-25, 1967
- 4) 景山久; 自動車排気ガスによる大気汚染防止に関する法規制, *公害と対策*, 2(2), 1-7, 1966
- 5) Clarkson, D., Middleton, J.T.; The California Control Program for Motor Vehicle Created Air Pollution, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 12(1), 22-28, 1962
- 6) 小早川隆; 自動車用エンジンの燃焼と排気V, *内燃機関*, 6(56), 87-97, 1967
- 7) 副島海夫, 吉田耕一; 自動車排気ガスの現状その減少対策, *公害と対策*, 2(2), 9-16, 1966
- 8) 金田孝二郎, 堀込徳年; 排気ガス規制について, *内燃機関*, 6(65), 19-25, 1967
- 9) 八巻正臣; 自動車排気ガスの浄化ならびに関連分析法について, *公害と対策*, 2(2), 100-108, 1966
- 10) 庄司光, 山本剛夫, 西田耕之助, 石川義紀; 自動車排気による大気汚染の研究, 京都市内における自動車の走行mode について, 第22回土木学会年次学術講演会, 概要集, 168-1-2, 1967
- 11) 庄司光, 山本剛夫, 西田耕之助, 石川義紀, 小松正幹; 自動車排気による大気汚染の研究, 京都, 大阪における自動車の走行mode について, 昭和42年度土木学会関西支部学術講演会概要, 178-178, 1967
- 12) 庄司光, 西田耕之助, 石川義紀, 小松正幹; 京都, 大阪市における走行mode について, *大気汚染研究*, 2(1), 105, 1967
- 13) Faith, W.L., 内藤幸 訳; 大気汚染と公害処理, 技報堂, 東京, 1965
- 14) Cann, G.R., Nobel, W.M., Larson, G.P.; Detection of Smog Forming Hydrocarbons in Automobile Exhaust Gases Using Plants As Indicators, *Air Repair*, 4(2), 31-34, 1954
- 15) Chandler, J.M., Cannon, W.A., Neerman, J.C., Rudolph, A.; Engine Variables and Their Effects on Exhaust Gas Composition, *Air Repair*, 5(2), 65-70, 1955
- 16) Larson, G.P., Chipman, J.C., Kauper, E.K.; Study of the Distribution and Effects of Automobile Exhaust Gases, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 5(2), 84-90, 1955
- 17) Grunder, L.J.; Highway Traffic Contributions to Air Pollution, *Air Repair*, 2(3), 109-111, 1953
- 18) Elliott, M.A., Nebel, G.J., Rounds, F.; Composition of Exhaust Gases from Diesel, Gasoline and Propane Powered Motor Coaches, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 5(2), 103-108, 1955
- 19) Teague, D.M.; Los Angeles Traffic Pattern Survey, SAE, National West Coast Meeting Paper No.171, 17-38, August, 1957
- 20) Chipman, J.C., Linville, W.A., Parmelee, W.E.; Evaluation of the Performance of A clayton Afterburner Designed for and Installed on a Gasoline Motor Coach, Research Division an Automotive Combustion Laboratory Report, P49, Los Angeles Air Pollution Control District 1958

- 21) Chass, R.L., Lunche, R.C., Shaffer, N.R., Tow, P.S.; Total Air Pollution Emissions in Los Angeles County, 52nd Annual Meeting. Air Pollution Control Association, Paper 59-58, P38, Statler Hotel, Los Angeles, California, 1959
- 22) Chipman, J.C., Massey, M.T.; Proportional Sampling System for the Collection of an Integrated Auto Exhaust Gas Sample, 52, Annual Meeting of Air Pollution Control Association, P23, Los Angeles, California, 1959
- 23) Dept. Public Health, State of California; Standards for Ambient Air Quality and Motor Vehicle Exhaust, adopted by the California State Board of Public Health, on Friday, December 4, 1959
- 24) Linville, W., Holmes, R.G., Kanter, C.V.; Evaluation of Methods for Controlling Vehicular Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(1), 21-28, 1960
- 25) Chipman, J.C., Massey, M.T.; Proportional Sampling System for the Collection of an Integrated Auto Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(1), 60-69, 1960
- 26) Chass, R.T., Tow, P.S., Lunche, R.G., Shaffer, N.R.; Total Air Pollution Emission in Los Angeles County, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(5), 351-366, 1960
- 27) Maza, J.A., Hass, G.C.; The Development of Motor Vehicle Exhaust Emission, Standards in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(5), 393-396, 1960
- 28) Smith, A.M., Struck, J.H.; A Simplified Method for Characterizing a Motor Vehicle's Exhaust Emissions, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(5), 251-253, 1961
- 29) McKee, H.C., Mills, K.D.; A Comparison of Various Sources of Automotive Emissions, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(11), 516-522, 1961
- 30) King, W.J., Wilson, K., Swartz, D.J.; Analysis of Automobile Exhaust Gas, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(1), 5-21, 1962
- 31) Clarkson, D., Middleton, J.T.; The California Control Program for Motor Vehicle Created Air Pollution, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(1), 22-28, 1962
- 32) Hass, G.C., Brubacher, M.L.; A Test Procedure for Motor Vehicle Exhaust Emissions, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(11), 505-509, 1962
- 33) Pattison, J.N., Sweeney, M.P.; A Study of Los Angeles Driving as it Relates to Peak Photochemical Smog Formation, National Meeting Air Pollution Control Association, 66-68, P24, San Francisco, June, 1966
- 34) California, Motor Vehicle Pollution Control Board; California Test Procedure And Criteria for Motor Vehicle Exhaust Emission Control, P95, State of California, Motor Vehicle Pollution Control Board, 1966

- 35) Maga, J.A., Kimesian, J.R.; Motor Vehicle Emission Standards, Present and Future, SAE 660104, P10, Automotive Engineering Congress, Detroit, Mich., Jan., 1966
- 36) Dept. Health, Education, and Welfare; Federal Register, Vol.31, No.61, Part II, P5170-5178, Washington D.C., March, 30, 1966
- 37) 小早川隆; 自動車用エンジンの燃焼と排気V, 内燃機関, 6(56), 87-97, 1967
- 38) 内燃機関編集部; 米国・日本における自動車排気ガス規則, 内燃機関, 6(61), 37-38, 1967
- 39) 山本峰雄・近藤政市・平屋敷・瓦理厚; 自動車ハンドブック, P873, 朝倉, 東京, 1966
- 40) 通商産業研究社; 日本の自動車工業, 1966-67年版, P861, 通商産業研究社, 東京, 1967
- 41) Middleton, J.T., Criteria for Certification of Motor Vehicle Pollution Control Devices in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(2), 78-80, 1963
- 42) 京都市都市計画局計画課; 全国道路交通情勢調査, 昭和36年度, P108, 京都市計画局都市計画課, 1961
- 43) 京都市都市計画局計画課; 全国道路交通情勢調査, 昭和40年度, P135, 京都市計画局都市計画課, 1965
- 44) 大阪市総合計画局計画部; 大阪市内自動車交通の現況, 昭和4年3月, P106, 大阪市総合計画局, 計画部, 1966
- 45) 大阪市総合計画局公害対策部; 環境からみた大都市における自動車排気ガスについて, 大阪市の場合, 公害と対策, 2(2), 43-52, 1966
- 46) 橋本正之, 中辻昇, 尾田晃一, 井上敏彦; 大阪市内における走行パターン調査結果, 大気汚染研究, 2(1), 100-101, 1967
- 47) Feller, W.; An Introduction to Probability Theory and Its Applications, P461, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1957
- 48) フェラー, W., 河田竜夫訳; 確率論とその応用, 下, 276-653, 紀伊国屋, 東京, 1966
- 49) 自動車技術会; 自動車工学ハンドブック, P926, 自動車技術会, 東京, 1967
- 50) Heethan, A.R.; Atmospheric Pollution, P301, Pergamon, Press, New York, 1964
- 51) Dickinson, J.E.; Air Quality of Los Angeles County, Technical Progress Report, Vol.II, P290, Air Pollution Control District, County of Los Angeles, 1961
- 52) McIlugh, E.W.; The Effect of Rapid Transit on San Francisco Bay Air Quality, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(5), 277-279, 1967
- 53) Sweevy, H.P.; Exhaust Control Devices, J. Air Poll. Assoc., 15(1), 13-18, 1965

第 六 章

自動車排気による大気汚染の実態に関する調査研究

は じ め に

ロスアンゼルスの大気汚染が光化学スモッグとして注目され、¹⁾ 石油系の燃焼排気が汚染源としてクローズアップされ、²⁾ その特徴的障害、汚染機構、汚染源とその制御が研究された。³⁾ さらに、石油産業を凌駕する汚染源として自動車排気の役割が明らかにされ、⁴⁾ 自動車排気の制御で大気汚染の防止が完全に達せられるとまでいわれた。⁵⁾ こうしたことから、汚染物の環境基準（許容基準）の設定⁶⁾とともに、汚染源の排出規制が実施され、自動車排気にも排出基準の制定¹⁰⁾やクラックケース排出規制¹¹⁾が実施された。1960年ごろからロスアンゼルスと同様の現象が米国の大都市で発生し、¹²⁾ 1966年に全米の排気規制が実施され、¹³⁾ 大気汚染観測網の整備¹⁴⁾とともに、自動車排気による大気汚染の監視と制御が米国での重要な社会問題となった。

一方、わが国でも昭和3年ごろに大阪市の街頭でのCO濃度から、排気ガスによる汚染の警告がなされた¹⁵⁾こともあるが、自動車排気による汚染が本格的に論ぜられたのは近年の自動車交通の急増による交通過密¹⁶⁾が叫ばれてからである。自動車の排気問題は、昭和37年のばい煙の排出の規制等に関する法律に付帯決議として採り上げられ、¹⁷⁾ 多くの調査研究がなされた。¹⁸⁾ しかし、その多くは測定方法の問題から、CO、鉛、浮遊ばいじんについての調査で、炭化水素にたいする資料はきわめて少ない。

本研究の第二章では、低濃度の炭化水素のガスクロマトグラフィー分析と、実用的な捕集方法を検討した。本章では、その成果を用いて、都市空気中の排気成分を測定し、都市の大気汚染の実情について検討するとともに、最近各所で問題とされている¹⁹⁾ 長大な自動車トンネル内とその付近における汚染の実態について調査した。

第 1 節 自動車排気による大気汚染に関する従来の研究

1-1 米国の概略

ロスアンゼルスではハイウェイの自動車排気が大気汚染に大きな影響を及ぼすとGrunder²⁰⁾が1953年に指摘し、Cann²¹⁾は、排気の炭化水素が植物に損傷を与えることを示した。Quiran²²⁾は、ロスアンゼルスBayway精油所付近の大気からmethane, propane 7~8 ppm, i-butane 3 ppmを検出した。Hrager-Smit²³⁾は、排気の炭化水素とNO₂の光化学反応を検討し、3methyl-pentane, n-butane, n-pentane, n-hexane, n-heptane, n-octane, n-nonane, 1-hexeneが作用にあずかり、反応生成物がゴムの腐蝕を生じる。また、methaneとethaneはオゾンを生成しないなど、ロスアンゼルススモッグの発生機構²⁴⁾を述べた。Larson²⁵⁾は、ロスアンゼルスで週日の交通量の時間分布（6~10時 20~25%, 10~16時 30~35%, 16~19時 20~25%, 19時~6時 20~25%, と汚染について述べた。市中心部では、大気中に残留した汚染物が逆転層の低下により濃縮され、早朝時の空気の沈滞で1~3時に炭化水素の最初のピークが現れるが、日の出とともに大気が混合されて濃度が低下する。6~9時に炭化水素の最大ピークが現れ、精油所地域のピーク時期（15~16時）とは異なる。この時期は交通の流入時に相当し、この地区では1日の炭化水素の25%がこの時期に放出され、COおよびNO₂も同様の傾向を示す。また、眼の刺激効果からも同様のことがみとめられたと述べた。Faith²⁶⁾は、排気成分がスモッグ前駆者であると強調し、Eggertsen²⁷⁾は、都市大気から炭化水素（4.95 ppm, wt）を検出した。Rogers²⁸⁾はパサデナ（1955-1956年）での測定から、NOとNO₂の日中変化のピークが交通量ピークと対応すると述べ、Stephans²⁹⁾は排気成分の光分解を述べ、

Rengettiら³⁰⁾は、炭化水素とSO₂の光化学反応でエアロゾルが生成すると示した。Hammingら³¹⁾は、ロスアンゼルス(1955~1958年)の汚染傾向を述べ、汚染物を一次と二次に分類した。一次汚染物は7時と20時ごろにピークを示し、年間最高は冬に現れるCO、炭化水素、NO₂、粒子、SO₂で、二次汚染物は12時ごろにピークを示し、年間最高が秋に現れるアルデヒド、眼の刺激、オキシダント、オゾン、植物毒性であると述べた。Chassら³²⁾は、ロスアンゼルスで自動車からの炭化水素排出の年度別傾向から、対策の推進を主張した。Briefら³³⁾は、米国北東部の6都市で交通量から測定点を選び(交通量大; ①32~99台/分, ②16~79台/分, 中程度; ③5~22台/分, ④3~21台/分, 交通量少; ⑤0~4台/分, ⑥0~5台/分)、大気中のCO濃度とPb量を地上4ft, 通過自動車から30~50ftの地点で測定した。地点①はPb2.51 mmg/m³, CO8 ppm, 地点②はPb1.82 mmg/m³, CO4 ppm, 地点③はPb1.20 mmg/m³, CO1 ppm, ④はPb0.94 mmg/m³, CO2 ppm, 地点⑤および⑥はPb0.43 mmg/m³, CO1 ppm以下で、Pb量とCO濃度と交通量との関係、ならびにPbとCOの相互関係を図6-1のように示し、ベルリンの測定で示されたCOと交通量の関係式($CO = -37.2 + 30.0T$ および $CO = +6.6 + 20.2T$; CO ppm, T; 台/分)とは異なると述べた。Middletonら³⁴⁾は、カナダ、メキシコおよび米国での光化学汚染の影響を述べ、ロスアンゼルス各汚染源の貢献度の日中変化から、自動車排気の占める割合がもっとも大きいことを示した。Cholakovら³⁵⁾は、シンシナティーでの測定から大気Pbの70~80%が自動車燃料によると述べた。Neligan³⁶⁾は1960年(8~11月)にロスアンゼルスの大気炭化水素をGLCで分析し、炭化水素とNO+NO₂濃度の関係は図6-2のように、ほぼ直線を示すと述べた。Bellerら³⁷⁾は、交通のない地点でethane0.006~0.007ppm, ethylene0.003~0.004ppm, propane0.001~0.002ppm, acetylene0.020ppm, n-butane0.003ppmを検出し、この値はシンシナティーのバックグラウンドレベルであると述べた。

図6-2 大気中のNO+NO₂濃度と炭化水素濃度の関係³⁵⁾

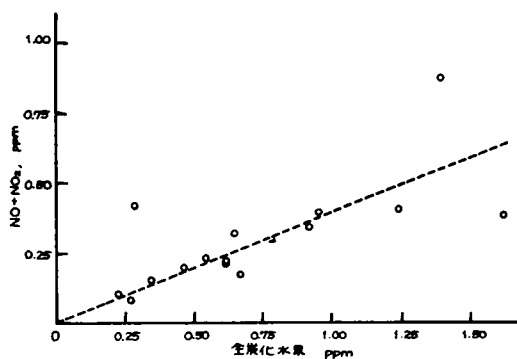
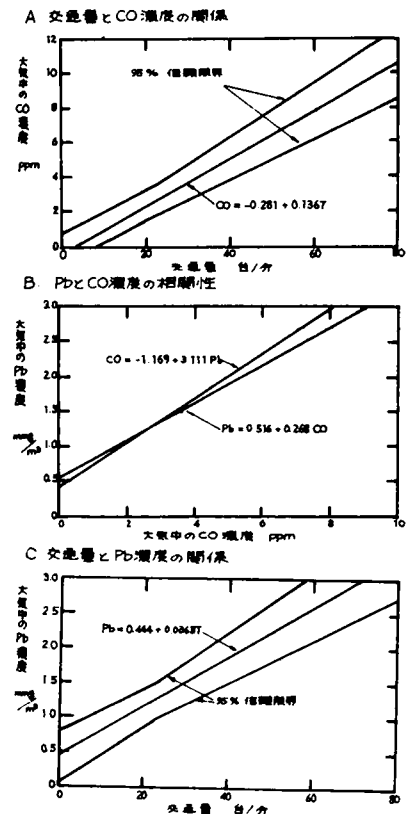


図6-1 交通量とCOおよびPb濃度の関係³³⁾



Altshullerら³⁸⁾は、光化学スモッグには芳香族炭化水素が0.05~1ppm含まれ、スモッグ時の大気は排気を1,000~2,000倍に希釈した状態であると述べた。Murphyら³⁹⁾は、排気の動物にたいする毒性を検討し、大気汚染レベルまで希釈した排気に2~6時間の曝露でかなり顕著な障害が生じることをみとめ、Dorloyら⁴⁰⁾は同様に、排気による植物損傷を示し、Larsenら⁴¹⁾、Prindleら⁴²⁾は、排気による健康障害について論じた。

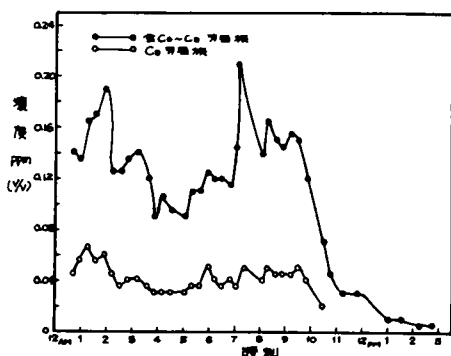
Kopczynskiら⁴³⁾は、オレフィン、NOとSO₂による反応にくらべて大気レベルのパラフ

インとSO₂の反応はエアロゾル生成にそれほど重大な関係がないと述べた。Altshullerら⁴⁴⁾は、1961年(9, 10月)ロスアンゼルス(大気汚染防止局6階)大気をGLCで測定し、methane 濃度は7時15分に最大(3.69 ppm)で、13時に最小(1.00ppm)を示すと

述べた。また、ethane 0.015~0.085 ppm, ethylene, acetylene 0.015~0.15 ppm, propane, propylene 0.005~0.035 ppm, i-butane, n-pentane 0.005~0.2 ppm, n-butane, i-pentane 0.01~0.11 ppm (合計, 0.13~0.65 ppm)を検出し、C₂~C₆ パラフィン、エチレン、アセチレンの経時変化を図6-3のように示した。低分子パラフィンは大部分がethane, propane, butane, pentaneで、ethaneは朝の交通のピーク時でもethyleneの1/2~1/3である。propaneはethyleneの10~30%以下になることはなく、時には50~70%に達する。n-butaneは通常ethyleneの50~100%で、ethyleneの値をこえることもある。

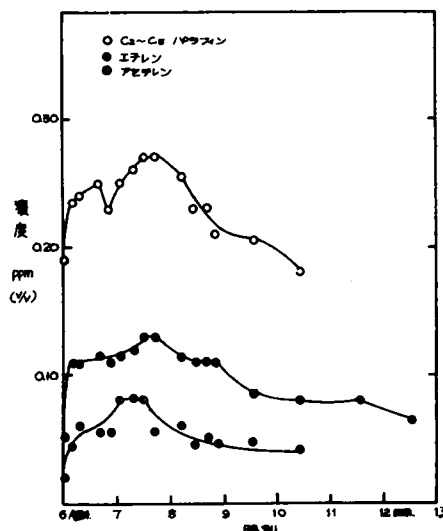
ethyleneは0.01~0.1 ppmで植物に重大な損傷を与え、NO₂との光化学反応により眼の刺激を生じるから、ethyleneの観測が大気汚染上もっとも有効である。ロスアンゼルスでethyleneの最高は0.13 ppmで、0.07~0.11 ppmが1時間以上続く場合も多く、0.1 ppmが2時間続いたこともある。朝の交通のピーク時(7~9時)、および午後のピーク(15~17時)にethyleneがもっとも高く、午後の濃度は午前よりも低いと述べた。さらに、大気中のbenzene, toluene(0.015~0.065 ppm), ethylbenzene(0.005~0.01 ppm), m, p-xylene(0.01~0.05 ppm), o-xylene(0.005~0.015 ppm) (合計0.07~0.19 ppm)も朝の交通ピーク時が最高で、芳香族C₆~C₈とC₉成分

図6-4 ロスアンゼルスにおける芳香族炭化水素濃度の時刻別変化(1961, 9月)⁴⁴⁾



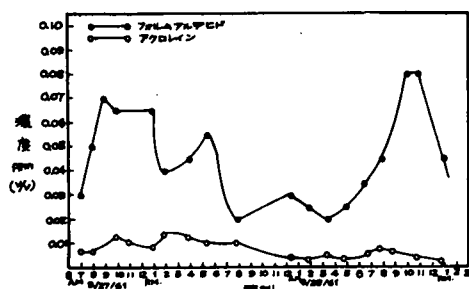
で存続し、その経時変化は芳香族⁴⁴⁾と同様である。全アルデヒドは0.03~0.14 ppmで、acroleinは平均0.007 ppm(最高0.014 ppm)を示すと述べた。

図6-3 炭化水素の成分別変化⁴⁴⁾
(1961, 9月 ロスアンゼルス)



分の日中変化は図6-4であると述べた。Altshullerら⁴⁵⁾はロスアンゼルス大気中のformaldehydeとacroleinの日中変化を図6-5のようにほぼ同様である。formaldehydeの平均は0.04 ppm(最高0.16 ppm)で、かなり多量が夜間を通じ

図 6-5 ロスアンゼルスにおけるアクロレインと
フォルムアルデヒドの経時変化
(1961.9月)⁴⁵⁾



を示した。シカゴ (7~8月, 8~9時) は 1.55~2.12 ppm で、ワシントン (7~8月, 7~8時) は 1.68~2.65 ppm を示したと述べた。Dubois⁵¹⁾ は、オタワ (カナダ) での炭化水素 (地上 40~50 ft, 6ヶ月間) の測定で、methane として 4.0~8.9 ppm を示したと述べ、Murphy⁵²⁾ は排気によるマウスの曝露障害を述べた。Stephens⁵³⁾ は、ロスアンゼルス市中心部から風下側のリバーサイドとサンベルナルジノで大気逆転層がよく発生することから、逆転層の移動とオキシダント濃度の関係を測定した。リバーサイドでは逆転層の移動で 17 時ごろからオキシダントが約 5 分間に数 ppm から 16 ppm に上昇し、20 時過ぎまで高濃度 (15~20 ppm) を示すと述べ、Battigelli⁵⁴⁾ はジーゼル排気の眼の刺激と吸入障害を述べた。

Reed⁵⁵⁾ は、アーチウェイ付近 (ロンドン) の排気煙は道路から 10 ヤードはなれた地点の約 10~20 倍のばいじん量 (500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上) を示し、その原因がジーゼル排気である。6~8 時と 19~22 時に濃度のピークが現れ、朝のピークが顕著で、交通量ともよく一致する。また、風速による影響についてつぎの関係式を示した。

$$\text{日 中} \quad P = 115 - 3.52u \quad \dots\dots\dots (6-1)$$

$$P = 77 - 4.0u \quad \dots\dots\dots (6-2)$$

ここで、P は煙の濃度、 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、u は風速、ノットである。さらに、路線からの距離による濃度の傾向を図 6-6 のように示し、道路から 100 ヤード離れると濃度がほとんど 0 であると述べた。Colucci⁵⁶⁾ は、デトロイトで交通量の大きい二地点とミシガン郊外での測定から、CO と鉛は多環芳香族と一緒に自動車から放出される。自動車による benzo-(a)-pyrene はハイウェイインターチェンジで検出量 (6 $\mu\text{g}/10^3 \text{ m}^3$) の 18%、下町 (7 $\mu\text{g}/10^3 \text{ m}^3$) で 5%、ワーレン郊外 (1 $\mu\text{g}/10^3 \text{ m}^3$) で 42% を占めた。benzo-(a)-pyrene と benzo-(a)-anthracene 量は統計的に鉛や CO 濃度とは明らかな相関関係がなく、夏よりも冬が高いと述べた。Kauper⁵⁷⁾ は、ロスアンゼルスの大気を浄化するには (1) 排気源の完全な制御、(2) 気象条件の人工的変化、(3) 社会慣習の調整の 3 点にせよ

れ、前二者は完全な実施が困難であるから、第三点について検討した。すなわち、風速と逆転層の高さの積を mixing volume として汚染物質を収容する大気容積と考え、ロスアンゼルスにおける mixing volume の時刻変化を表 6-1 のように示した。早朝および夜間の汚染の低いとき、とくに朝の交通のピーク時 (7~8 時) の mixing volume

Niemeyer⁴⁶⁾ は、シンシナティーでの光化学スモッグによる障害の発生と、オキシダント濃度 (最高 0.20 ppm) のピークが 7~10 時に現れると述べた。Kopczynski⁴⁷⁾ は、アルキルベンゼンと NO_x との光化学反応を述べ、Altshuller⁴⁸⁾ は排気芳香族の反応性とオレフィンの反応性⁴⁹⁾ を測定した。Altshuller⁵⁰⁾ は、1961~1962 年のロスアンゼルス、シンシナティー、シカゴ、ワシントンについて methane を測定した。ロスアンゼルスは 9 月 1.15~2.66 ppm、10 月 1.16~3.69 ppm で、7~9 時に最高値が現れる。シンシナティー (3~4 月 9~15 時は 1.38~2.98 ppm で、とくに 4 月 4 日 9 時 (SEC Gree house) に 10.60~11.14 ppm

図 6-6 交通流から水平距離による
ばい煙濃度の減少傾向⁵⁵⁾

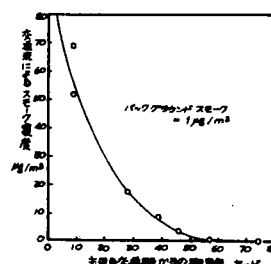


表 6-1 ロスアンゼルスにおける
Mixing Volume の経時変化⁵⁷⁾
(1960, 6~8月)

時刻 (時)	平均風速 (mph)	高度混合層 (ft)	Mixing Volume (風速)×(混合層の厚さ) (10 ⁶ ft ³ /sec)
4	3.1	100	3.1
5	3.2	100	3.2
6	3.1	100	3.1
7	3.3	200	6.6
8	3.9	400	15.6
9	4.6	600	27.6
10	5.2	900	46.8
11	6.4	1100	70.4
12	7.8	1300	101.4
13	9.0	1400	126.0
14	9.5	1400	133.0
15	9.7	1200	116.4
16	9.0	1100	99.0
17	7.9	1000	79.0
18	6.8	800	54.4
19	5.4	700	37.8
20	4.6	500	23.0
21	4.0	300	12.0
22	3.8	200	7.6
23	3.4	100	3.4
24	3.1	100	3.1

は非常に小さい。mixing volume とCO濃度とは相関を示し、光化学スモッグは第一次汚染物の排出から約3時間の遅れで現れるから交通ピークをおくらせてスモッグの発生時期がmixing volumeの最大になるときに一致させれば、排気による汚染を大巾に減少でき、交通のピークを1時間おくらせることでロスアンゼルスのおキシダント汚染の22~26%の減少が可能であると述べた。Stephenson⁵⁸⁾は、大気中のNOとオレフィンによるニトロオレフィンの生成機構を述べた。

Ramsey⁵⁹⁾はオハイオ州デイトンで、交通量の大きい50交差点でCOを測定した。日中と週間のCOは交通量に影響され、週日の7~9時8~110ppm(平均39.8ppm)、16~18時2~135ppm(平均49.1ppm)、他の時間2~68ppm(平均26.4ppm)で、全日2~135ppm(平均36.1ppm)を示し、朝、夕には100ppmをこえるピークがある。月別では、10月(平均44.6ppm)がもっとも高く、7月(平均30.4ppm)がもっとも低い。デイトンの大気を代表する大気汚染防止局付近では平均10.9ppmで、全交差点平均の約1/3である。さらに、週日で大気の安定状態の違いによる大交差点でのCO濃度の経時変化を図6-7のように示し、気象要素がもっとも大きく影響すると述べた。Schuck⁶⁰⁾は、ロスアンゼルスでの測定から、炭化水素(HC)、CO、NO_xの関係式を示すとともに、気象要素との関連について検討した。

$$(CO) = 3.15 + 1.88 (HC) \dots (6-3)$$

$$(NO_x) = 0.852 (HC)^2 - 0.0365 (HC)^3 \dots (6-4)$$

DeMaio⁶¹⁾は、ピッツバーグで大気中にbenzo(a)-pyreneが0.8~37.4μg/1000m³存在すると述べ、Schusky⁶²⁾は、セントルイス(セントルイス郡、セントルイス市、マシソン郡、セントクリヤー郡)でも排気による汚染が軽視できないと述べた。Altshuller⁶³⁾は、1964年で、ロスアンゼルスとシンシナティのmethaneの日中変化および最高値(2.6ppm, 2.4ppm)がほぼ同様で、methane以外の炭化水素はロスアンゼルス(3.0ppm)

図 6-7 大交差点におけるCO濃度の経時変化⁵⁹⁾

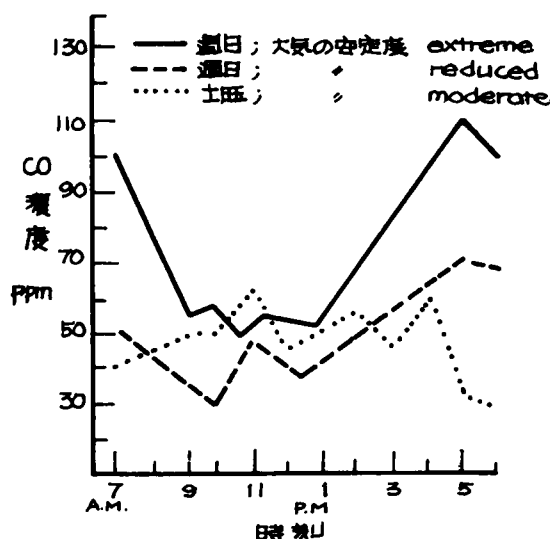
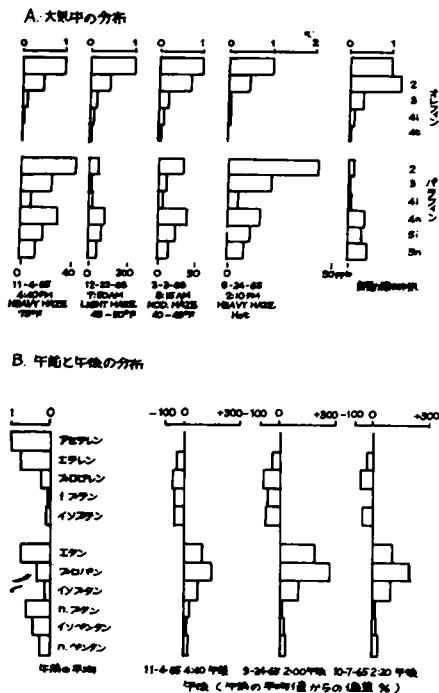


図 6-8 自動車排気と大気中の
炭化水素構成の比較⁶⁹⁾



大気における汚染物質の拡散、煙突排気の拡散理論については数多くの研究があり枚挙にいとまがなく、米国ではTVA⁷⁵⁾、ブレイグラス⁷⁶⁾、テネシー⁷⁷⁾などの大規模な野外拡散実験やスケールモデルの風洞実験⁷⁸⁾、⁷⁹⁾、⁸⁰⁾も報じられている。実際の野外測定による汚染物の拡散も多く研究され、比較的注目されるものを挙げるとつぎのようである。すなわち、Wilkins⁸¹⁾は、風速および拡散に及ぼす地形効果を述べ、Jenne⁸²⁾、Smithら⁸³⁾は気温勾配、気象条件と汚染度について述べた。

Davisonら⁸⁴⁾は、パイペン風速計による測定から地上濃度の推定法を検討した。Leavitt⁸⁵⁾は気象要素と汚染の関係を、Gartrellら⁸⁶⁾は飛行機による汚染物の採取法を述べた。Davidson⁸⁷⁾は谷間における汚染と谷風の効果を考察し、Baulch⁸⁸⁾は大気中のガスチネスとSO₂の関係を測定した。大気汚染と気象の関係はMachta⁸⁹⁾、Greenburgら⁹⁰⁾も述べており、Hewallら⁹¹⁾は、降雨や風速によるSO₂濃度の変化を測定した。Crow⁹²⁾は、デンバーの下町地域での風の影響を述べ、Delandら⁹³⁾は、ミネアポリスとルイスビルのテレビジョン塔を利用し、地上500ftまでの風向

と風速の影響を測定した。

Singerら⁹⁴⁾、Munnら⁹⁵⁾は大気の拡散パラメーターおよび地表濃度の実測と電子計算機による汚染物の計算濃度とを比較した。Hewsonら⁹⁶⁾は、湖に接した都市での汚染物の移動と湖上風の効果を考察した。大気汚染物の拡散をモデル化した取扱いによる検討も多く、Kleinsasserら⁹⁷⁾は気象的沈滞モデルを考えた。Halistky⁹⁸⁾は、風の流れをさえぎるビルディングによる汚染物質の攪乱効果のモデルについて考察し、Clarke⁹⁹⁾は多数の汚染物による大気の汚染を単一拡散モデルとして取扱うことを検討し、Briggs¹⁰⁰⁾は煙突排気の上昇モデルと実測値とを比較した。Millerら¹⁰¹⁾は連続汚染源が均一に地上に分布し、各線汚染源からの排出物がmixing layerの頂上に達するまで鉛直方向の拡散が起こり、その後汚染物がmixing layer中に均一に分散すると仮定した都市大気汚染モデルを考え、拡散係数を規定して大気濃度が汚染源の排出量、都市域の大きさ、mixing layerの厚さ、風速の函数であることから、都市域上の平均、積分、最高濃度を計算し、実測の資料と比較した。すなわち、ロスアンゼルス都市域でのNO_xの実測濃度とこのモデルによる計算値との相関係数は $r=0.88$ ($n=36$)、ナッシュビルの都市部でのSO₂は $r=0.84$ ($n=31$)、ワシントンの都市部でのNO_xは $r=0.83$ ($n=41$)と計算値が実測値にきわめて近く、このモデルがはなはだ有効であると述べた。Koogerら⁶²⁾は、大気汚染物の拡散についての多変数函数モデルを述べ、Montgomeryら¹⁰³⁾は従来の煙の拡散モデル(サットン、ボサンケとピアソン、USPHS-TVA)による汚染物濃度の算定と実測値とを比較した。また、都市域の大気拡散については1961年のシンポジウム¹⁰⁴⁾でも詳しく論じられた。

以上は、自動車排気による都市の大気汚染の実情に関する米国の調査研究の概略で、交通量の大きい都市域での汚染に排気成分が大きな役割をもつことが示された。しかし、光化学汚染にたいする指標成分、測定方法と観測位置の選定などを統一した調査や、都市構造(道路事情)、気象要素などとの関係についての組織的な研究が少ない。このため、都市の汚染度の評価基準も明確でなく、今後の検討が待たれる。

1-2 わが国の実状

わが国の大気汚染はロンドン型とロスアンゼルス型の混合型¹⁰⁵⁾ともいわれるが、自動車交通の過密化が著しく、都市面積あたりの自動車台数は米国の諸都市を凌駕する勢にあり、¹⁶⁾ 自動車排気による汚染は軽視できない。これまでのわが国の大気汚染調査は工場排煙に起因するばいじん、 SO_2 に関するものがほとんどで、自動車排気についての資料はきわめて不十分である。小林ら¹⁰⁶⁾ (昭和37年)は、横浜市内の大交通量地点(200~4400台/時)で、 CO (1.0~40 ppm, 平均10 ppm), NO_2 (1~64 ppbm, 平均10 ppbm)および鉛量($1.4 \sim 41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 平均 $13.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$)が交通量と正相関を示すと述べた。また、都市街路での SO_2 はほぼ一定値(0.2~1.3 ppbm)で、 NO (平均42 ppbm)は NO_2 よりも高い値が多く、各成分とも9時および17時前後に最高、4時付近に最低となると述べた。大和田ら¹⁰⁷⁾は、大阪市内の街路上で、鉛以外の CO , HCHO , NO_2 , SO_2 , じんあい濃度(指数)は冬期が夏期より高く、各成分とも交通量に比例するが、車種別相関には一定の傾向がないと述べた。矢戸ら¹⁰⁸⁾も、横浜市内の伊勢佐木町と交通量が約3倍の桜木町での CO 濃度がほとんど同じで、季節別には2月がもっとも高い。 CO 濃度は午前から午後にかけて増加し、16~18時に最高を示す。 CO 濃度の週変化では月曜または火曜に最高(70 ppm)を示すと述べた。著者ら¹⁰⁹⁾は、京都市の交通頻繁な四条河原町交差点で約3 ppmの炭化水素を検出し、京都と大阪市の大交通量交差点(7か所)で、自動車の通過点の近く(約0.5~1.0 m)から合計1.4~6.1 ppmの $\text{C}_1 \sim \text{C}_{10}$ 炭化水素を検出した。¹¹⁰⁾ 久津ら¹¹¹⁾は、東京都の街路空気から0.18~0.88 ppm(平均0.45 ppm)の炭化水素を検出し、加藤ら¹¹²⁾は、*n*-butaneが地上(10 ppb)からの高さとともに増大したのち、80~500 mではなめらかに減少すると述べた。西川ら¹¹³⁾はスモッグと自動車事故の関係を論じ、著者ら¹¹⁴⁾ (後述)は高速道路トンネル内とその出口付近で排気による汚染度を測定した。倉恒¹¹⁵⁾ ¹¹⁶⁾は、排気の有害性を述べ、八巻¹⁶⁾は昭和39年末の全国、東京都、大阪府の自動車台数、都市面積、ガソリンの消費量から、都市面積あたりのガソリン消費量がロスアンゼルスに非常に類似していると述べた。また、東京都でのガソリン車による排出量は CO 1,600~1,800トン/日、炭化水素52~56トン/日といわれ、¹¹⁷⁾ 東京都内(昭和39年)の CO 濃度の最高(平均)は霞ヶ関32 ppm(4.2 ppm)、新宿20 ppm(2.0 ppm)、板橋(1.0 ppm)で、大阪市内(昭和34~37年)は5.0~60.0 ppmで、交通量の大きな都市の汚染が憂慮すべき段階にあると述べられている。¹¹⁷⁾

このようなことから、昭和37年施行のばい煙の排出規制等に関する法律で、自動車排気による大気汚染の防止研究の推進が附帯決議として示され、¹⁷⁾ 排気にたいする関心と排気ガス規制の気運が高まった。加藤¹¹⁸⁾は、東京都でスモッグ時(昭和39年12月)の大気から0.008~0.356 ppmの炭化水素(*n*-butane + *i*-pentane + *n*-pentane)を検出し、平野ら¹¹⁹⁾、六鹿ら¹²⁰⁾は排気による障害を述べた。前者は千葉市内の交差点で、風速1.5 m以下には大気中に CO の蓄積効果があり、午後の最高が60 ppmに達すると述べた。白石ら¹²¹⁾は自動車事故と煙霧との関連性を検討し、煙霧が事故の発生を助長し、実効温度が高いほど発生が多いと述べた。昭和40年に東京都の甲州街道と環状7号線の交差する汚染地区と非汚染地区での調査¹²²⁾から、血液中の CO -ヘモグロビン量が非汚染地区住民(2.79%)よりも汚染地区住民(4.27%)の方が慢性的に高いと述べられた。大平¹²³⁾は、東京都(昭和38年)の自動車登録数は92万台(全国の約16%)、都内主要交差点の交通量が約8万~11万7千台/日で、 NO_2 は冬期0.02~0.31 ppm(平均0.11 ppm)、夏期0.02~0.07 ppm(平均0.04 ppm)と米国の都市(平均0.10~0.26 ppm)に近い。全炭化水素は冬期0.33~1.65 ppm(平均0.91 ppm)、夏期0.02~1.31 ppm(平均0.28 ppm)で、 NO_2 、全炭化水素とも冬期が高い。地域別に都心部(都庁屋上)冬期1.65 ppm、夏期1.3 ppm、工業地帯(城東保健所)冬期0.8~1.1 ppm、夏期0.07~0.27 ppm、副都心部(衛研、東京タワー25 m)冬期0.74~1.1 ppm、夏期0.08~0.27 ppm、住宅地域(世田谷保健所、気研)冬期0.03~0.86 ppm、夏期0.06~0.41 ppmと冬期が高く、主要道路上では0.41~2.68 ppm(平均1.1 ppm)である。都庁前(歩道)の CO 濃度は夏期よりも冬期が高い。主要道路から少し離れると CO 濃度は $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{30}$ に減少し、東京タワー(25 mの高さ)では夏期、冬期とも CO が検出されず、 CO は道路沿いに分布する局地汚染質であると述べた。大阪市総合計画局¹²⁴⁾は大阪市の自動車登録数(昭和40年)は約50万台(大阪府下約89万台)で、市内交差点の平均交通量は約6万台/日

(市域外約2万8千台/日)である。交通量約1.3万台/日の梅田新道(昭和40年6月)のCOは緑地帯70ppm,交差点中央100ppmと著しく高い。交通量約1.1万台/日の曾根崎警察署前(地上7m)での昭和39年11月~40年3月の月別最高は18~25ppm(月平均4~7ppm)で、浮遊ふんじん量はCOのピークよりも1~2時間早くピークが現れるから自動車以外のソースが影響すると推論した。さらに、大阪市の自動車台数(391,000台)、車種別軒あたり燃料消費量、走行軒から排出量がCO599トン/日、炭化水素66トン/日、酸化窒素22トン/日で、大阪市全域(面積202km²,高さ120m)に拡がると、CO濃度は20ppmとなり、昭和43年にはロスアンゼルス30ppmを越えると述べ、CO、炭化水素、酸化窒素の汚染度の傾向を図6-9のように示した。しかし、排出量推定における各要素の仮定条件の詳細は公表されていない。西井¹²⁵⁾は、東京都の皇居前、御徒町三丁目、新宿三丁目の交差点は交通量(昭和38年冬)83±12~136±10台/分、CO25.4±5.8~31.1±7.3ppm、炭化水素0.32±0.16~0.78±0.30ppm、鉛2.16±0.82~6.00±3.38μg/m³で、これらの三地点での

図6-9 大阪におけるCO、炭化水素および窒素酸化物の将来予測

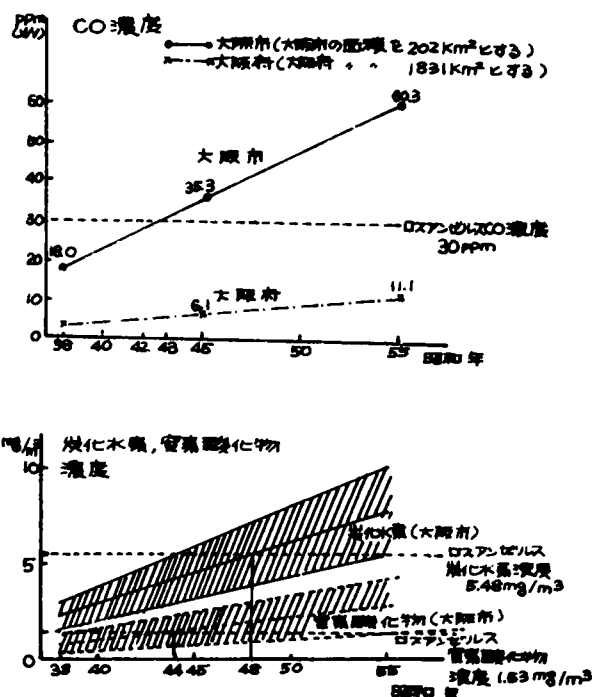


表6-2

一酸化炭素濃度の立体的分布 (ppm)
(昭和38年12月測定)

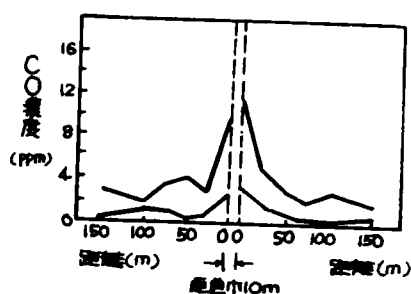
時刻	皇居前	御徒町三丁目	新宿三丁目
10(時)	43	10	16
11	53.5	16.5	25
12	23	14.5	27
13	77	12.5	17.5
14	20	15	14.5
15	23	12	21
16	17	9.5	45

COの鉛直分布を表6-2のように示した。田村町周辺の高層建物のある交差点はCOが15~35ppm,車坂周辺の中層建物の多い交差点は5~20ppmで、都市のビルディングの高さが街路上のCOに大きく影響すると述べた。また、CO-Hbをパトカー乗務員、交通係員、白バイ乗務員の勤務後(午後3時)について調査し、三群ともCO-Hb濃度10%以上が半数をこえる。白バイ乗務員は全員が10%をこえ、20%以上が半数をこえると述べ、肺機能(ピークフローレート)の測定、道路周辺に居住する住民の自覚症状調査から汚染防止の必要性を強調した。杉山¹²⁶⁾

も、東京都(昭和40年9月)の汚染地区では9月~12月のCO濃度(1時間平均)が平均6.6ppm(最高22ppm)である。場所別の平均9~19時は交差点中心55ppm(4~110ppm),交差点四隅16ppm,交差点に面する建物の入口8ppm,幹線道路の歩道15ppm,幹線道路より25mおよび50m地点7ppm,4ppmであると述べ、COは

自動車の排気管から1フィートの距離で排出濃度の $\frac{1}{10}$ に減少するといわれるが、COによる汚染は路面のみでなくかなり広範囲に及ぶと述べた。北川¹²⁷⁾は、横浜で大交通量の高島町ガード下(車道と歩道の境界、地上60cm)で、COは最高30~40ppm、平均10~15ppmで、自動車数と正相関を示し、地表面の温度が上昇する正午ごろに一時低下する。排気は道路面の近くで排出され、路面温度が低いときや雨天で道路が濡れていると地表付近に停滞する。道路からの距離によるCOの減少傾向は図6-10のようで、約100~150m離れた地点でのCOは問題でない。また、道路沿いに建物(約13m)があるところでのCOの鉛直分布では地上1m付近の濃度がもっとも高く、わが国での排気による汚染範囲は道路上とその付近に限定され、道路から水平に約100m、鉛直に10m以上はなれるとはほとんど問題はなく、典型的な局地汚染であると述べた。多田¹²⁸⁾も自動車排気の影響を述べ、藤井¹²⁹⁾は、大阪市内の排気による大気汚染と人体への影響を考察し、市内U交差点でCOは歩道上15~25ppm、交差点中央30~50ppmと述べた。

図6-10 車道からの距離によるCO濃度の分布



橋本¹⁵⁾は、東京都世田谷区大原交差点を中心とした半径300mの地域内でエアトレーサーを用いた拡散調査から、排気の影響が道路沿線の住民に及んでいると指摘した。さらに、この交差点の交通量(昭和41年10月3~10日、8.3万台/日)は40年秋より8%増加し、その約50%が乗用車で、ジーゼル車は約10%を占める。CO(1時間平均)は5.4ppm、(最高2.7ppm)と前年(4.1ppm、2.2ppm)より高い。交差点から西北方約100m、甲州街道から約70mはなれた地点で最高1.7ppm(平均1.7ppm)で、幹線道路からはなれるにつれて低下する。ベンツピレン類は甲州街道沿道で平均6.1μg/1000m³で、工業都市より低く、NO₀ 0.108ppm、NO₂ 0.041ppm(1時間平均)も前年(0.074ppm、0.026ppm)より高い。NO対NO₂比は前年と変化がなく、俗道をはなれるとNO₂の割合が増す。12個の飽和、不飽和炭化水素の総量は0.2ppm(0.01~0.8ppm)で前年よりやや低く、汚染は幹線道路に集中し、昼間よりも夕方が高い。さらに、大気中のC₄~C₆成分の不飽和/飽和比($\frac{1}{10}$ ~ $\frac{1}{15}$)を求め、東京都の汚染形式が飽和の多いカンリン型から不飽和の多いブテン型に移りつつあると述べた。加藤¹³⁰⁾も同様のことを示し、LPG車の増加が原因であると述べた。橋本¹⁵⁾は蛍光顔料による拡散調査から、風下のみでなく風下主軸から両側に140°で、100~200mはなれた地点でもかなりの濃度が検出されたと述べ、蛍光物質が自動車の引きこす乱れや自動車自身で風上方向に運搬されると考え、拡散パラメーターに自動車引きこす乱れを考慮すべきであると述べた。また、交差点周辺はアイドリングでの排出量が大きく、アイドリング時間を最小限にし、CO排出を減少する必要があると述べた。

以上は、わが国で行われた自動車排気による大気汚染の調査、研究の概略で、東京、大阪などの大都市の汚染が軽視できないことが指摘された。これまでの調査はCOを中心としたものがほとんどで、炭化水素に関する資料は測定が困難なことなどからきわめて少なく、都市構造、交通事情、気象条件、測定位置と方法などを配慮した組織的な研究は皆無で、大気汚染軽減と都市計画上の基礎資料の早急な整備がのぞまれる。

第2節 都市大気中の低級炭化水素の実態に関する調査研究

2-1 研究目的

近年、わが国の都市交通の増加は著しく、交通停滞などの交通災害が頻繁に報じられ、自動車排気による大気汚染も激化している。わが国では排気ガス汚染は道路沿いの局地汚染である¹²⁷⁾との主張もあるが、都市大気中の窒素酸化物、炭化水素の増加傾向、逆転層の発生などが各種の調査でみとめられ、スモッグの発生や炭化水素による植物、重要文化財

などの被害も叫ばれている。^{131) 132)} 大気中の炭化水素はきわめて低濃度で、しかも多数の同系成分が混在してスモッグ前駆物質となるため、従来の測定方法ではそれらの分離同定が困難で、炭化水素汚染に関する資料はきわめて乏しい。

本節では、第二章で検討した低濃度の炭化水素捕集法を用い、ガスクロマトグラフィーにより都市大気中の炭化水素汚染の実状を知るために測定した。^{114) 133～136)}

2-2 測定方法ならびに場所

2-2-1 測定方法

各測定地点で被検空気をポリエチレン-アルミ箔袋 (50～70ℓ)、マイラーバッグ (約70ℓ、第三章) に採取したのち、第二章で述べた濃縮トラップ¹³⁶⁾ (内径4mm、長さ20cm、U字管、ガラスウール、ガラスビード、またはfire-brick C-22、30-40 meshを充填、冷媒；液体窒素) を用いて、試料空気 (トラップ通過速度、0.5～1ℓ/min) から炭化水素を濃縮捕集し、GLC (柳本5DH) で分析した。分離カラムには β,β -oxydipropionitrile (15% wt, fire-brick C-22, 40-60 mesh) 2m+dimethyl-sulfolane (30% wt, fire-brick C-22, 40-60 mesh) 5m^{137) 138)} およびdimethyl-sulfolane²⁷⁾ 7mを用いた。カラムパイプには内径4mmのステンレス管を使用し、分析温度は $20 \pm 1^\circ\text{C}$ および $0 \pm 1^\circ\text{C}$ (氷水) とし、キャリアガスにはヘリウムを用いた。GLCの検出器にはTCDとFIDを使用し、各成分ピークの定性ならびに定量は常法¹³⁹⁾ にしたがった。

2-2-2 測定場所および日時

1 曾根崎警察署前

大阪市の曾根崎警察署前 (北区梅田町一番地) の梅田地下街換気塔敷地の西北部で、試料空気を路端から2m、路面から2mの高さで採取した。測定場所の概略は図6-11に示す。この地点は大阪市の中心部で交通量はきわめて多く、そのほとんどが乗用車およびバスである。

測定日時は昭和41年2月1日 (晴)、2日 (曇)、3日 (晴) の8時より17時で、この期間の交通量の経時変化は図6-12に示す。この交差点は三叉路をなしており、通過量は7,757～11,574台/時 (平均10,559台/時) を示した。測定当日の気温は15時の値で、 $12.0 \sim 16.5^\circ\text{C}$ で、期間中の風向は北東の風40%、北風23%、西風20%、北西の風10%、東風7%で、風速は $0.4 \sim 3.0 \text{ m/sec}$ (平均 1.3 m/sec) を示した。

図6-11 試料採取点 (大阪市)

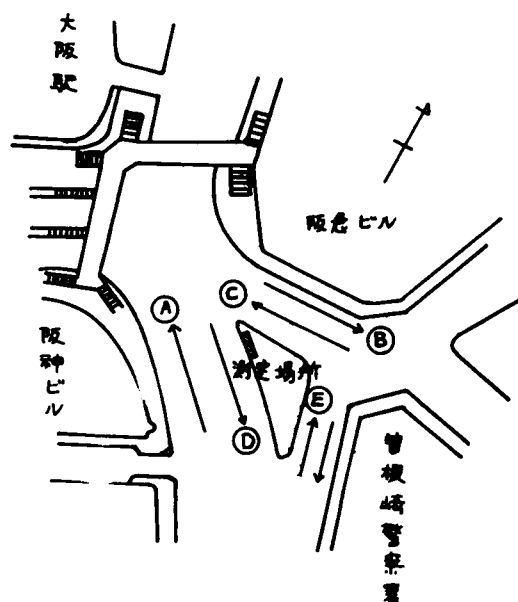
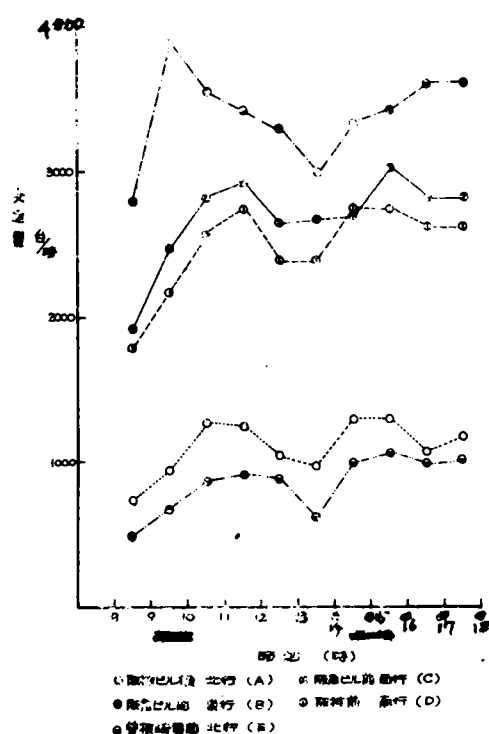


図4-12 交通量の経時変化



Ⅱ 大阪府下の道路

1) 府立成人納センター前

昭和42年2月21日、22日の9時から19時の間に地上約2m、路側より約2.5mで試料空気を採取した。測定期間中の交通量は約2,900～4,500台/時(平均3,918台/時)で、15時の気温は15.0℃、17.5℃を示した。地上2mでの風速は0～0.9m/sec(平均0.4m/sec)で、主なる風向は北東または北を示した。

2) 堺市役所前

昭和42年2月28日と3月1日の9時から17時の間に地上約1m、路側から約3～5mの市役所前、ならびに反対側の路側(地上1m、路端より0.5m)で試料空気を採取した。測定期間中の交通量は約3,600～5,100台/時(平均4,521台/時)で、15時の気温は5℃および9℃を示した。地上(1.5m)の風速は0.7～3.4m/secで、主なる風向は西北西または北西である。

3) 守口市大日交差点(国道1号線と中央環状線の立体交差点)

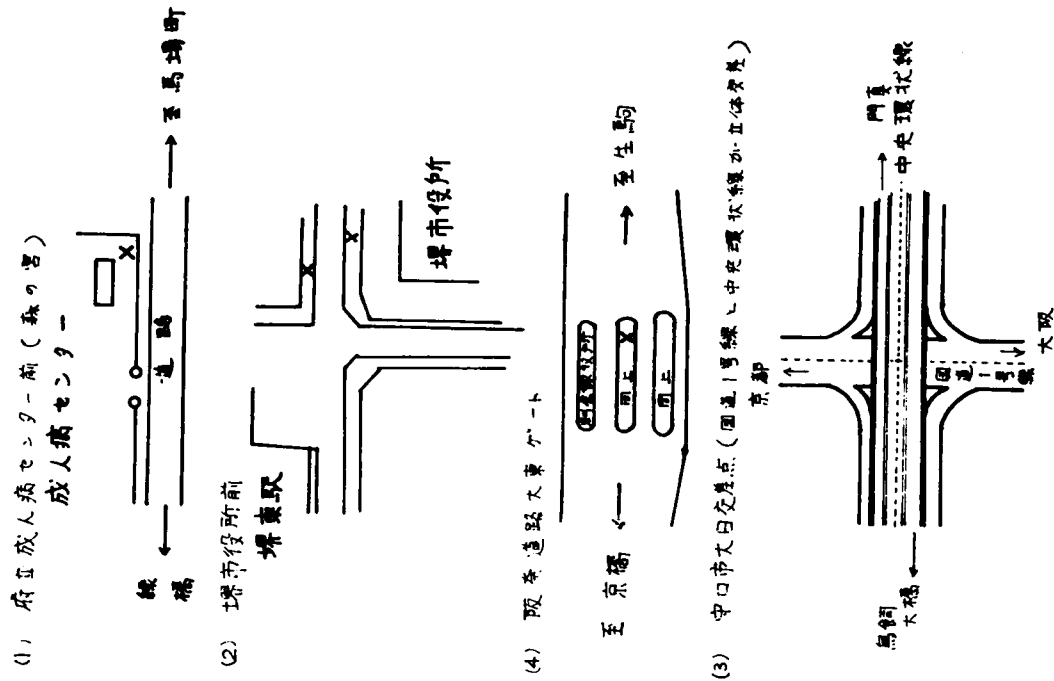
昭和42年3月14日と15日の9時から17時の間に路側(地上1m)、および高架橋の上(橋の路面より約1.5mで、地上より約7mの高さ)で試料を採取した。測定期間中の交差点の通過交通量は約7,100～9,700台/時(平均8,598台/時)で、15時の気温は15.4℃および8.4℃を示した。地上(1.5m)の風速は0.6～2.5m/sec(平均1.2m/sec)で、主なる風向は北もしくは北西である。

4) 阪奈道路大東ゲート

昭和42年3月9日と10日の9時から17時の間に、料金徴収ゲートの安全地帯上(通過自動車より約0.3～0.5m、地上約1mの高さ)で試料空気を採取した。この道路は有料道路で測定期間中の交通量は約600～1,000台/時(平均784台/時)とかなり少なく、15時の気温は4.0℃および5.3℃を示した。地上(1.5m)の風速は0～3.5m/sec(平均0.8m/sec)で、主なる風向は北、北北西、または南南西を示した。

以上の各測定地点の概略は図6-13に示す。

図6-13 大阪府下における測定点



2-3 測定成績ならびに考察

2-3-1 曾根崎警察署前

2月2日14時30分、2月3日の9時30分および14時30分に採取した空気中から表6-3に示すとおり、合計

曾根崎警察署前に於ける炭化水素濃度 (ppm)

日時	2月2日 14:30	2月3日 9:30	2月3日 14:30
交通量(台)	10,76	8,40	10,30
methane	0.01	0.02	0.01
ethane	0.02	0.03	0.04
acetylene	0.38	0.32	0.55
propane	0.11	0.12	0.15
propylene	0.13	0.16	0.07
Me acetylene	0.34	0.41	0.55
n-butane	0.02	0.06	0.07
n-butene-1	0.21	0.33	0.56
butene-2	0.05	0.05	0.05
butylene	0.05	0.06	0.05
n-pentane	0.03	0.04	0.03
n-pentene	0.08	0.09	0.11
trans-2-butene	0.02	0.01	0.01
cis-2-butene	0.03	0.01	0.02
butadiene-1,3	0.08	0.01	0.00
2-pentene	0.04	0.03	0.04
n-pentane	0.06	0.07	0.05
3-methyl-butene	0.04	0.04	0.04
2-methyl-butene	0.01	0.04	0.02
2-hexane	0.05	0.10	0.03
2-hexene	0.02	0.04	0.03
合計	1.70	2.04	2.47

表6-3

21種の $C_1 \sim C_6$ 炭化水素が検出され、検出合計は1.70～2.47 ppmを示した。表には測定時の交通量(台/時)を示す。検出成分のなかではethylene, propylene, i-butaneが全体にたいして12.4～22.7%と比較的大きい含量を示し、炭化水素の構成比はパラフィン約35～41%, オレフィン約51～58%, アセチレン約8～9%となり、不飽和成分の割合がかなり大きく、本研究第三章およびFeinlandら¹⁴⁰⁾が述べている自動車排気にくらべると、 $C_1 \sim C_2$ パラフィンならびに C_6 パラフィンの割合がかなり小さい。Wayne⁶⁾はロスアンゼルス市の大気中の炭化水素は9.3 ppmと、Altschullerら¹⁴¹⁾は0.1 ppmであると述べているが、これにくらべて本測定の値は著しく大きい。本測定では地表近く(約2 m)で、しかも自動車の通行地点にきわめて近い(2 m)ところで試料空気を採取したために、通過自動車の排気の影響が大きく、このような高い濃度を示したと考えられる。Goldsmith¹⁴²⁾

表6-4 京都・大阪の交差点における炭化水素濃度

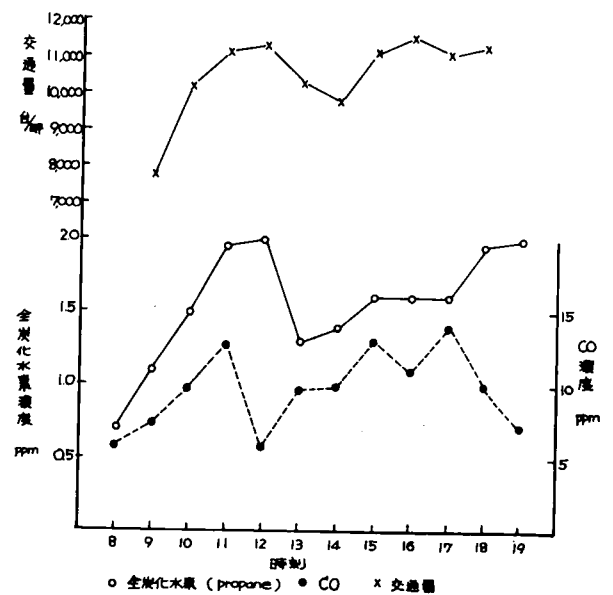
場 所	$C_1 \sim C_{10}$ 成分 ppm			合計 ppm
	飽和	不飽和	芳香族	
京 都				
西門通	1.05	0.36	0.04	1.45
東山三条	3.04	1.01	0.27	4.32
河原町四角	2.43	0.69	0.12	3.24
大 阪				
梅田	3.37	1.09	0.23	4.69
御堂筋	2.00	0.43	0.07	2.50
新橋	3.99	1.76	0.30	6.05
京 橋	2.74	1.19	0.25	4.19

が述べた交差点での炭化水素値(最高値1.50～2.33 ppm, 平均0.76～1.32 ppm), および著者ら¹³⁵⁾が、昭和38年に京都市(東山今出川, 東山三条, 河原町四角)と大阪市(梅田新道, 梅田, 御堂筋, 京橋)の各交差点(路側)で測定した値(表6-4, $C_1 \sim C_{10}$ 成分, 1.45～6.05 ppm)と大差はない。しかし、その際の構成比は飽和約56～72%, 不飽和約16～29%, 芳香族約3～6%で、本測定では不飽和成分の割合が大きい。

また、調査期間を通じて測定した全炭化水素(propane 校正, ベックマン製FIA), およびCO濃度(日立製, 赤外吸収法), および交通量の時刻別平均を図6-14に示す。

両成分の増減傾向と交通量の変化とはよく対応しており、交通量、CO, および全炭化水素の午前のピークは11時～12時に、午後のピークは16時～18時に現れる。瞬間最高値は全炭化水素2.5～7.0 ppm(全平均1.6 ppm), CO濃度4～39 ppm(全平均9.7 ppm)を示し、交通量の平均は10,559 台/時である。

図6-14 測定時の交通量とCOおよび全炭化水素濃度の経時変化



2-3-2 大阪府下の交差点における測定

1) 府立成人病センター前

2日間の測定値から、各時刻ごとに平均した成績は表6-5に示す。合計25種のC₁～C₆炭化水素が検出された。

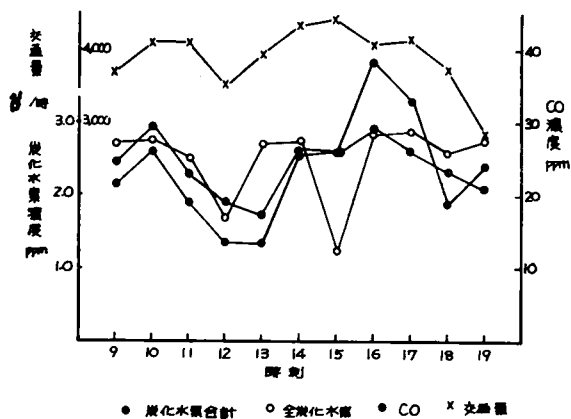
表6-5

成人病センター前の測定成績 ppm

成分	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
methane	0.22	0.11	0.39	0.08	0.17	0.12	0.33	0.13	0.11	0.05	0.27
ethane	0.07	0.01	0.12	0.10	0.03	0.02	0.06	0.08	0.05	0.04	0.00
ethylene	0.32	0.40	0.36	0.24	0.18	0.76	0.42	0.48	0.42	0.31	0.59
acetylene	0.23	0.42	0.19	0.17	0.14	0.29	0.34	0.45	0.55	0.25	0.25
propane	0.12	0.16	0.08	0.09	0.10	0.14	0.17	0.20	0.20	0.14	0.18
propylene	0.11	0.17	0.11	0.02	0.07	0.11	0.13	0.91	0.18	0.09	0.12
propadiene	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00
Me-acetylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-butane	0.35	0.46	0.20	0.27	0.25	0.30	0.39	0.73	0.63	0.29	0.31
i-butane	0.12	0.16	0.08	0.03	0.11	0.14	0.13	0.24	0.22	0.11	0.13
i-butylene	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.04	0.01	0.02	0.04	0.01	0.00
cis-2-butene	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01
trans-2-butene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
butene-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
butadiene-1,3	0.01	0.01	0.01	0.18	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.04
Et-acetylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-pentane	0.19	0.28	0.19	0.09	0.12	0.19	0.20	0.40	0.32	0.18	0.20
i-pentane	0.26	0.32	0.22	0.17	0.17	0.25	0.36	0.60	0.47	0.25	0.24
2,3-d-Me-propane	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	0.05	0.02	0.06	0.03
cis-2-pentene-3	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
pentene-1	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
n-hexane	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.11	0.03	0.02	0.00
3-Me-pentane	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
2-Me-pentane	0.02	0.04	0.02	0.01	0.01	0.02	0.11	0.04	0.01	0.02	0.02
2,3-d-Me-butane	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
合計	2.13	2.63	1.91	1.53	1.38	2.59	2.60	3.86	3.35	1.92	2.40

炭化水素の合計は1.38～3.86 ppm（平均2.37 ppm）ときわめて高く、試料の採取地点が自動車の通行場所に近いために、排気が直接影響したものと考えられる。表には各時刻の交通量平均をも示す。検出成分含量についてはmethane（3～20%）、ethylene（12～25%）、acetylene、propane、n-butane、n-pentane、i-pentane（6～19%）、propylene、i-butane（4～8%）が比較的大きい割合を占め、各成分の含量は測定時刻で大きく変動した。これは測定点が自動車の通行に近いために、車種（ガソリン、ディーゼル、プロパン）、速度条件が大きく影響したものと考えられる。炭化水素の構成比はパラフィン約48～70%（平均62.1%）、オレフィン約20～41%（平均25.6%）、アセチレン約10～17%（平均12.3%）で、前記の曾根崎警察署前よりもオレフィンの割合が非常に小さく、第三章で述べた自動車排気に近い。

図6-15 成人病センター前の炭化水素とCO濃度および交通量の経時変化



炭化水素の合計（2日間平均）を測定時刻について図6-15に示す。図にはFIA（propane 校正）および赤外分析計で測定した全炭化水素（全平均2.50 ppm）、CO濃度（全平均24.1 ppm）ならびに交通量（全平均3,915台/時）の平均値についても示し、瞬間最高値は全炭化水素0.2~20.0 ppm、CO 3.0~8.5 ppmである。GLCによる炭化水素合計、FIAによる全炭化水素およびCO濃度の経時変化はほぼ同様で、いずれも交通量の増減傾向とかなり密接な関連性を示す。すなわち、10~11時に朝の交通ピークがみられ、各成分とも10時にピークを示す。さらに、14時~16時に交通量が増し、各成分ともおおむね増大するが、炭化水素合計は16

時に明らかなピークを示し、交通量との相関性が顕著にみとめられる。

2) 堺市役所前

市役所前と反対側の路側で測定した炭化水素の合計は表6-6に示す。市役所前では0.62~1.27（平均1.05 ppm）で、路側では1.17~2.08 ppm（1.59 ppm）を示した。検出成分の含量では methane, ethylene, n-butane（5~26%）、acetylene, propane, n-pentane, i-pentane（5~16%）、propylene, i-butane（0~7%）が比較的大きい割合を占め、その値は測定時刻で大きな変動を示す。

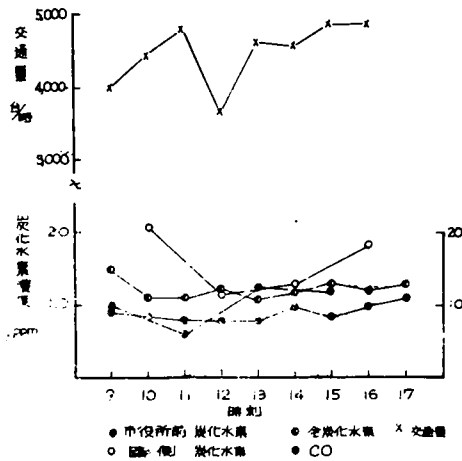
（ ）内は合計にないする含量を示す。炭化水素の構成比はパラフィン約62~70%（平均66.6%）、

表6-6

堺市役所前の測定成績（ppm）

成分	9	11	13	15	10	12	14	16
合計	4000	4791	4618	4863	4443	3648	4847	4848
methane	0.18	0.16	0.30	0.17	0.09	0.35	0.07	0.16
ethane	0.07	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03
ethylene	0.27	0.10	0.25	0.15	0.22	0.15	0.15	0.35
acetylene	0.07	0.04	0.08	0.13	0.15	0.14	0.17	0.17
propane	0.04	0.05	0.20	0.08	0.23	0.06	0.04	0.14
propylene	0.05	0.03	0.05	0.08	0.12	0.05	0.09	0.12
propadiene	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
Me-acetylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-butane	0.12	0.09	0.10	0.20	0.40	0.16	0.25	0.28
i-butane	0.06	0.03	0.04	0.08	0.09	0.05	0.09	0.10
1-butylene	0.01	0.00	0.01	0.01	0.09	0.01	0.01	0.01
cis-2-butene	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
trans-2-butene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
butene-1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
butadiene-1,3	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Et-acetylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-pentane	0.06	0.04	0.07	0.10	0.15	0.07	0.15	0.15
i-pentane	0.10	0.05	0.08	0.13	0.29	0.11	0.20	0.20
2,2-dimethylpropane	0.02	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04
cis-pentene-2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
pentene-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-hexane	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
3-methylpentane	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
2-methylpentane	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02
2,3-dimethylbutane	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
合計	1.07	0.62	1.27	1.22	2.08	1.17	1.32	1.93

図6-16 堺市役所前における炭化水素、CO濃度
および交通量の経時変化



の通過に近い路側の値は、路側から約3mはなれた市役所前よりもやや高く、両者の炭化水素の構成割合はほぼ同様である。この地点での炭化水素合計、CO、全炭化水素値の経時変化は通過交通量の変化ほど顕著ではなく、9時から17時までの値はほぼ同程度である。

3) 守口市大日交差点

立体交差道路の中央部で地上と高架橋の高さ（地上約7m）で測定した炭化水素合計は地上で1.28～1.88ppm（平均1.40ppm）、橋上では1.17～1.68ppm（平均1.36ppm）を示し、地上と橋上とに明らかな違いがない。個々の成分の測定成績は表6-7に示すとおりで、methane, acetylene, n-pentane (5～11%), ethane (1～9%), ethylene (11～29%), propane, propylene,

オレフィン約1.8～3.2%（平均2.4.3%）、アセチレン約7～13%（平均9.4%）で、成人病センター前と大差はない。

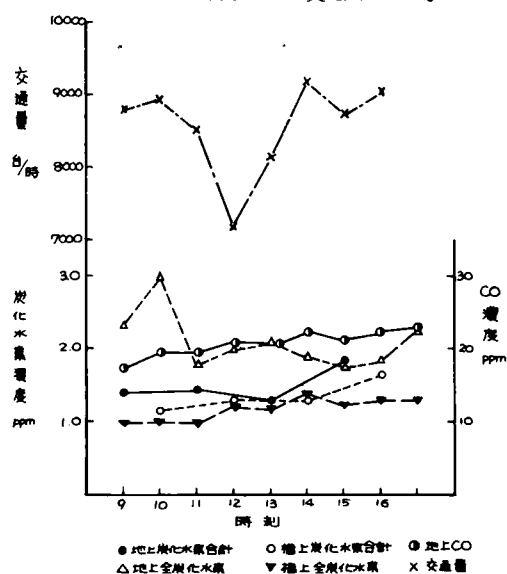
測定時刻別の炭化水素合計（2日間平均）は図6-16に示すとおりで、図には市役所前と路側、ならびにCO（平均12.2ppm）、炭化水素値（propane較正、平均0.90ppm）、交通量（平均4,472台/時）をも示す。また、瞬間最高値は全炭化水素1.3～4.1ppm、CO8～25ppmである。路側の炭化水素濃度は市役所前よりも通過自動車に近いためにやや高く、府立成人病センター前にくらべて、交通量には大差がないが炭化水素合計、COともやや低い。この地点は大阪湾からも近く、測定当日の地上風速（0.7～3.4m/sec）が成人病センター前の測定時の風速よりやや大であったことが原因と考えられる。また、自動車

表6-7

大日交差点における測定成績（ppm）

成分	地上				橋上			
	9	11	13	15	10	12	14	16
合計	8.802	8.523	8.157	8.761	8.943	7.754	9.187	9.059
methane	0.09	0.09	0.08	0.19	0.11	0.09	0.09	0.11
ethane	0.01	0.06	0.06	0.06	0.11	0.09	0.08	0.02
ethylene	0.41	0.16	0.32	0.39	0.30	0.30	0.33	0.39
acetylene	0.08	0.20	0.16	0.20	0.11	0.15	0.13	0.16
propane	0.08	0.09	0.06	0.08	0.05	0.06	0.08	0.09
propylene	0.08	0.09	0.07	0.03	0.06	0.08	0.07	0.09
propadiene	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Me-acetylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-butane	0.20	0.22	0.14	0.25	0.12	0.16	0.15	0.22
i-butane	0.06	0.06	0.05	0.09	0.06	0.06	0.05	0.12
i-butylene	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
cis-2-butene	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
trans-2-butene	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
butene-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.03
butadiene 1,3	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Et-acetylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-pentane	0.13	0.16	0.11	0.19	0.08	0.10	0.11	0.14
i-pentane	0.19	0.22	0.14	0.27	0.08	0.15	0.15	0.20
2,2,4-Me-propane	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01
cis-2-pentene-2	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
pentene-1	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
n-hexane	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
3-Me-pentane	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2-Me-pentane	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
2,2,4-Me-butane	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合計	1.42	1.45	1.29	1.39	1.17	1.31	1.31	1.69

図6-17 大井交差点における炭化水素、CO濃度および交通量の経時変化



均1.19ppm)の成績、地上におけるCO濃度(平均20.9ppm)ならびに交通量(平均8,579台/時)の変化も時刻別に示す。全炭化水素の最高値は、地上で2.8~8.0ppm、橋上では1.8~8.0ppmと大差なく、CO濃度の最高は地上で22~42ppmを示した。この地点はかなり広い交差点面積をもち、周囲に高層建築物もないところであるが、測定期間の風速が0.6~2.5m/secで、この程度の自然風によっては路上に放出された排気成分を地表から飛散させる効果が少なく、汚染物が低層大気中に停滞すると考えられる。

4) 阪奈道路大東ゲート

阪奈有料道路の大東ゲートの料金徴収所地点で測定した炭化水素の成績は表6

表6-8

阪奈道路大東ゲートにおける測定成績(ppm)

成分	9	10	11	12	13	14	15	16
methane	0.12	0.20	0.12	0.30	0.19	0.19	0.13	0.21
ethane	0.05	0.10	0.11	0.07	0.07	0.09	0.02	0.15
ethylene	0.30	0.31	0.39	0.18	0.42	0.25	0.18	0.28
acetylene	0.11	0.16	0.25	0.31	0.23	0.30	0.12	0.29
propane	0.37	0.08	0.09	0.09	0.06	0.08	0.07	0.07
propylene	0.07	0.16	0.08	0.12	0.08	0.12	0.09	0.11
propadiene	0.04	0.07	0.00	0.08	0.00	0.07	0.01	0.01
Me-acetylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-butane	0.19	0.40	0.20	0.25	0.20	0.25	0.21	0.27
i-butane	0.33	0.15	0.07	0.11	0.09	0.11	0.08	0.10
i-butylene	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
cis-2-butene	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
trans-2-butene	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01
butene-1	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
butadiene-1,3	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Et-acetylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
n-pentane	0.11	0.29	0.16	0.18	0.45	0.28	0.14	0.21
i-pentane	0.18	0.43	0.22	0.28	0.22	0.38	0.21	0.32
2,2-dimethylpropane	0.01	0.02	0.01	0.03	0.03	0.04	0.03	0.01
2,3-dimethylbutane	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
2-methylpentane	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
3-methylpentane	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
2,2,4-trimethylpentane	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2,2,5-trimethylpentane	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
2,2,4,4-tetramethylpentane	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01
合計	1.98	2.56	1.80	2.13	2.15	2.25	1.35	2.15

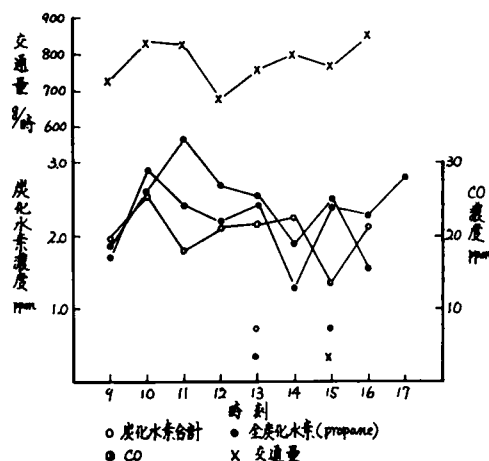
i-pentane(5~16%)が比較的大きい含量を示し、これらの含量は測定時刻によって若干異なる。炭化水素の構成比はパラフィン約53~66%(平均57.9%)、オレフィン約20~38%(平均31.6%)、アセチレン約5~14%(平均10.4%)で、地上および高架橋上の構成比には顕著な差異がなく、前述の測定地点(成人病センター前、堺市役所前)とも大差はない。路上を走行する自動車による気流の擾乱効果から、この程度の高さ(約7m)での大気中の炭化水素濃度はほぼ同程度に混合された状態であるとみられる。

炭化水素濃度(2日間平均値)を時刻別に図6-17に示す。図には地上および橋上に分けて示す。橋上の値は大きな変動がなく、午前から午後へかけてわずかに上昇し、低層大気中に炭化水素の蓄積が生じているとみられる。また、図には同時に測定した全炭化水素(propane校正)の地上(平均2.11ppm)および橋上(平均1.19ppm)の成績、地上におけるCO濃度(平均20.9ppm)ならびに交通量(平均8,579台/時)の変化も時刻別に示す。

- 8に示すとおりで、合計1.35~2.56 ppm (平均2.04 ppm) が検出された。前述の成人病センター、堺市役所前、大日交差点での値にくらべてやや高く、検出成分の含量ではmethane, ethylene, acetylene, propane, n-butane, i-butane (3~19%), n-pentane (6~21%), ethane, propylene (2~7%), i-pentane (9~17%) が比較的大きい割合を示す。炭化水素の構成比はパラフィン約57~73% (平均65.6%), オレフィン約20~29% (平均23.4%), アセチレン約6~14% (平均10.9%) を示し、前述の大阪府下の各測定地点と大差はない。

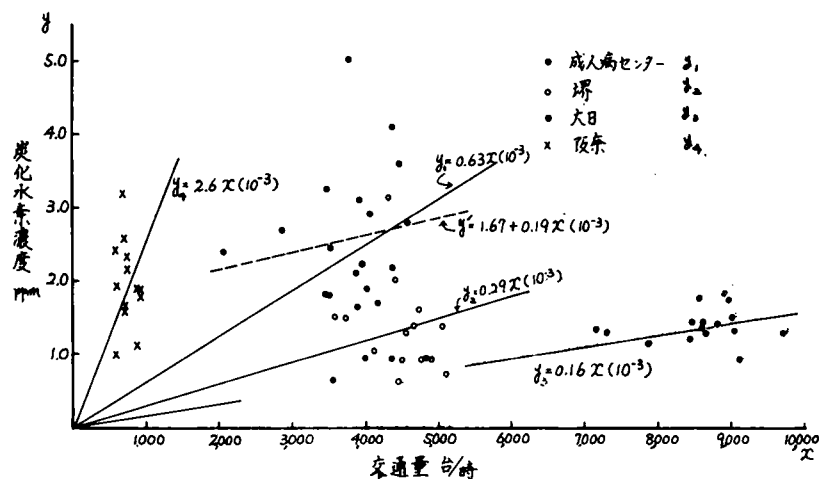
炭化水素合計 (2日間平均) を時刻別に図6-18に示す。図には同時に測定した全炭化水素 (propane校正, 平均2.38 ppm), CO濃度 (平均25.5 ppm) および交通量 (平均778 台/時) についても示す。各成分の経時変化の様子はほぼ同様で、交通量増減との関連性は顕著でない。また、瞬間最高値は全炭化水素15.5~20 ppm 以上, CO濃度22~135 ppmときわめて高濃度の場合がみられた。試料の採取場所が通過自動車にきわめて近く (0.3~0.5 m), 料金収納所は自動車が一たん停止したのち加速発進する場所であったために、測定当日の風速 (0~3.5 m/sec) がやや大きいにもかかわらず、排気成分の濃度が高い値を示した。また、CO濃度については労働衛生上の許容値¹⁴³⁾ (100 ppm) をこえる場合も少なくなく、料金収納所での作業人員にたいする保護対策の必要性がみとめられ、多田ら¹⁴⁴⁾ もこのような有料道路の料金徴収員にたいする排気ガスの有毒性を指摘した。

図6-18 阪奈道路大東ゲートにおける炭化水素, CO濃度および交通量の経時変化



Altshullerら⁵⁰⁾ は、ロスアンゼルス、シンシナティー、ワシントンで大気中から1.5~2.5 ppmのmethaneを検出しており、前述の大阪の各測定点でのmethane値はこれよりかなり低い。さらに、ロスアンゼルスでは大気中の脂肪族炭化水素が0.13~0.65 ppmで、芳香族炭化水素が0.07~0.19 ppmである⁴⁴⁾と述べられているが、本測定による各地点での値はこれよりかなり高い。しかし、本測定では、いずれも測定地点が自動車の通行位置にきわめて近いところで、通過自動車の排気が大きく影響したものと考えられる。また、Nelligan³⁶⁾はロスアンゼルスの大気中からC₂~C₄パラフィン0.089~0.594 ppm, C₂~C₄オレフィン0.022~0.118 ppm, C₂~C₄アセチレン0.035~0.277 ppm, C₂~C₄ジオレフィン0.001~0.009 ppm, ethane + ethylene 0.070~0.545 ppmを検出したが、これにくらべて、本測定での値は各成分ともやや大きい。しかし、以上の米国における成績では測定地点、道路状況、気象状態についての記載がないために厳密な比較はできない。大阪府下の各地点で検出された炭化水素の平均構成比には大差なく、パラフィン系成分が約58~67%とほぼ過半を占める。なかでも、C₁~C₄成分の占める割合が大きく、本研究第三章で述べた自動車排気のアイドル、加速時とほぼ同様の傾向を示す。しかし、曾根崎警察署前とくらべると、大阪府下の成績は飽和成分の割合がかなり大きく、不飽和成分の割合は曾根崎警察署前の約1/2と低い。大阪府下の各地点について、炭化水素濃度の合計と測定時刻の交通量との関係を地点別にプロットすると図6-19のとおりである。図には各地点における平均交通量と平均炭化水素濃度から求めた傾向線をも示す。阪奈道路大東ゲートの場合を除く、他の3地点 (成人病センター前、堺市役所前、大日交差点) では、測定期間の平均風速が成人病センター前、0.4 m/sec, 守口市大日交差点、1.2 m/sec, 堺市役所前1.3 m/secを示し、炭化水素

図6-19 炭化水素濃度と交通量の関係



濃度と交通量の傾向直線の勾配が平均風速の増大につれて成人病センター前、0.63、堺市役所前0.29、大日交差点0.16と順次に減少し、風通しのよい、交差点容積の大きい地点ほど大気汚染防止上有利であることがみとめられ、都市大気中の汚染物濃度は地上風による散乱効果が大きく影響することを示す。府立成人病センター前における交通量、 x 台/時、と炭化水素濃度、 y' ppm、についての回帰直線（図の破線）は

$$y' = 1.67 + 0.19x(10^{-3})$$

..... (6-4)

を示した。この場合、 y 軸を切る切片である1.67 ppmは成人病センター付近におけるバックグラウンドレベルとも考え

られる。他の3地点は実測炭化水素濃度と交通量から求めた回帰直線が負の勾配を示すために除いた。すなわち、これらの地点は、風速変動が成人病センター前にくらべて大きく、交通量の変動よりもむしろ試料採取時の風速が地点濃度 zu 大きく影響し、交通量が小さくても炭化水素が高い値を示すことがあるために、回帰直線の勾配が負となったものと考えられる。

2-4 総括

わが国の都市と周辺部における自動車交通の増加は著しく、自動車排気による大気汚染も軽視し難い。しかし、これについての資料は少なく、とくに、光化学スモッグ発生に重要な炭化水素の実態に関する資料はきわめて乏しい。

本節では、本研究第二章で検討した低濃度の炭化水素の捕集方法を用いた、ガスクロマトグラフィーで、都市大気中の炭化水素にたいする実態調査を行なった。測定は大阪市中心部の曾根崎警察署前、ならびに大阪府下で交通量の多い地点（堺市役所前、府立成人病センター前、守口市大日交差点、阪奈有料道路ゲート）で、比較的自動車の通行に近いところで測定した。その結果を要約するとつぎのとおりである。

1. 曾根崎警察署前では合計1.70～2.47 ppmの炭化水素が検出され、通過交通量との相関関係は顕著である。炭化水素の構成比はパラフィン約38%、オレフィン約54%、アセチレン約8%で、検出成分のなかではethylene, propylene, i-butane が約12～23%と大きい割合を占める。

2. 府立成人病センター前では、合計1.37～3.86 ppm（平均2.37 ppm）の炭化水素が検出され、methane, ethylene（約3～25%）、acetylene, n-butane, n-pentane, i-pentane（約6～19%）が比較的大きい含量を示し、炭化水素の構成比はパラフィン約62%、オレフィン約26%、アセチレン約12%で、曾根崎警察署前とはかなり異なる。炭化水素濃度と通過交通量の増減関係は顕著な相関性を示す。

3. 堺市役所前では、合計0.63～1.25（平均1.03 ppm）の炭化水素が検出され、路側では合計1.28～2.08 ppm（平均1.59 ppm）を示し、methane, ethylene, n-butane（約5～26%）、acetylene, propane, n-pentane, i-pentane（約5～16%）が比較的大きい含量を示す。炭化水素の構成比はパラフィン約67%、オレフィン約24%、アセチレン約9%を示し、成人病センター前と大差はない。この地点では、地上風速の変動が大きく、交通量と炭化水素濃度との間に明らかな相関性がみとめられなかった。

4. 守口市大日交差点では、地上で合計1.28～1.85 ppm（平均1.40 ppm）、高架橋上（地上約7 m）で合計

1.17～1.66 ppm (平均1.36 ppm) の炭化水素が検出され、ethylene (約11～29%)、methane、acetylene、n-butane、n-pentane、i-pentane (約5～15%) が比較的大きい含量を示す。炭化水素の構成比はパラフィン約58%、オレフィン約32%、アセチレン約10%で、成人病センター前と大差がない。また、地上と高架橋上とは濃度、および炭化水素構成について顕著な差がなく、炭化水素濃度と通過交通量との間には明らかな関係がみとめられず、その原因に地上風速の影響が考えられた。

5. 阪奈道路大東ゲートでは、合計1.35～2.53 ppm (平均2.04 ppm) の炭化水素が検出され、propane、n-pentane (約3～21%)、methane、ethylene、acetylene、n-butane、i-butane、i-pentane (約4～17%) が比較的大きい含量を示し、炭化水素の構成比はパラフィン約66%、オレフィン約23%、アセチレン約11%で、大阪府下の他の地点と大差はない。この地点は、交通量が約600～1,000台/時と少ないが、試料採取点が通過自動車にきわめて近いことから、炭化水素濃度が非常に高い値を示した。また、CO濃度の測定から料金収納員の保護策を考慮する必要をみとめた。

6. 曾根崎警察署前の炭化水素の構成比ではパラフィンが過半を占め、大阪府下の地点ではC₁～C₄。パラフィンが比較的大きい割合を示す。さらに、各交差点での交通量の増大につれて、炭化水素濃度、CO濃度が増加し、その増加勾配は地上風速(平均)に反比例することがみとめられた。

以上は、都市街路で自動車の通過点に近い位置での測定結果で、いずれも、通過自動車の排気の影響を直接受けてかなり高濃度の炭化水素およびCOが存在することを示した。それゆえ、交通量の大きい街路では居住者、通行人、街路樹、建物などへの影響は無視できない。なお、排気ガス中には芳香族炭化水素や高級炭化水素もかなり多量に含まれており、これらの成分についての検討、気象条件、都市構造との関連、排気成分の拡散と蓄積などについての今後の測定が大気汚染防止のために必要である。

第3節 高速道路トンネルとその付近における大気汚染の調査、研究

3-1 研究目的

わが国の産業の急速な発展は都市の巨大化をもたらすとともに、都市域内はもとより都市間の物資、人員の移動量を急増させた。しかし、永年の道路政策の無為のために国内の交通網はきわめて貧弱で、経済成長に大きな障害となり、近年に至って開発整備が本格的に着手された。すなわち、東海道新幹線をはじめとする高速鉄道、名神、東名、中央などの高速自動車専用道路、さらには東京都、大阪市、神戸市などの市内自動車専用道路の建設などの長期開発計画の実施が推進された。なかでも、最近の物資輸送の能率ならびに国内のモーターリゼーションの急速な発展から、自動車専用道路の開発が急がれ、1964年に名神高速自動車道路の尾張一宮と西宮間が開通して、わが国の高速自動車時代の曙となった。

しかし、わが国の狭小な、しかも山地の多い国土という特殊性から、新たな自動車道路の開発には多くのトンネルを設けることが余儀なくされ、土木技術の進歩により長大なトンネルが各所で建設されている。このような長大なトンネル内を通過する自動車、または汽車の排気によるトンネル内の空気汚染については、従来から鉄道トンネルで排煙による視程の減少と、COの有害性の点から問題とされ、¹⁴⁵⁾ トンネル内の換気や照明について多くの調査、研究がなされている。

¹⁴⁶⁾ ¹⁴⁷⁾ 米国ではLarsenら⁴⁾が1962年にボストンと東ボストンを結ぶ全長5,655 ftのサマーントンネル内(Summer funnel)の汚染についてCO、ばいじん、鉛などと交通量との関係を詳細に調査した。わが国では自動車トンネル内での排気による汚染については最近、若干¹⁴⁹⁾ ¹⁴⁹⁾の報告がなされている程度で、とくに、炭化水素についての資料はほとんどない。トンネル排気中には自動車排気に含まれる植物や人体に有害性をもつ成分⁶⁾ ⁷⁾ ¹⁵⁰⁾ ¹⁵¹⁾ ¹⁵²⁾ もかなり多く存在し、トンネル出口付近での植物障害も訴えられている。¹⁴⁹⁾

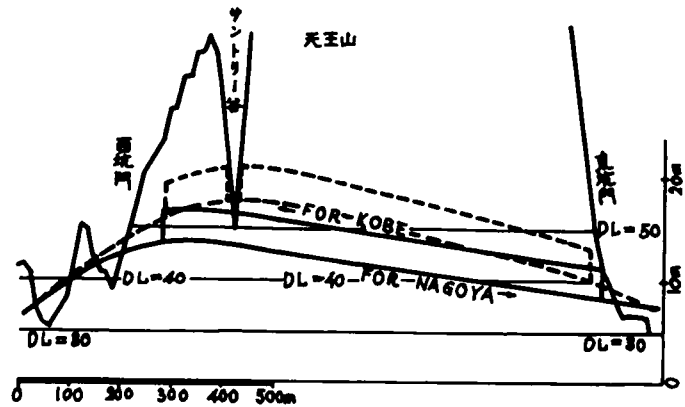
本節では、自動車トンネル内と、その出口付近での排気による汚染についての基礎資料を得ることを目的として、測定を行なった。¹¹⁴⁾ ¹⁵²⁾ ¹⁵³⁾ ¹⁵⁴⁾ ¹⁵⁵⁾ 調査を行なった場所は名神高速道路天王山トンネル(東口)である。

3-2 測定場所ならびに方法

3-2-1 天王山トンネルの概要

名神高速道路の尼崎-栗東間(約71km)は1963年7月に開通し、この間に嵯原(897.4m)、天王山(1454m、上り線)、蟬丸(374.5m)、大津(402.5m)の4地点にトンネルが建設された。天王山トンネルは大阪府三島郡島本町と京都府乙訓郡大山崎村にまたがり、幅員8.7m、天井の高さ4.5mで上下各1本のトンネルからなる。上下線とも図6-20に示すとおり路面は西口(大阪側)から約200m入った地点に頂上をもち、上り線(京都行)は0.85%の下り勾配、下り線(大阪行)は1.50%の上り勾配をもってトンネル東口に達し、さらに道路はゆるやかに彎曲して約250m東の大山崎橋に至る。測定を行な

図6-20 天王山トンネル縦断面図



たトンネル東口付近の地形の概略とトンネル坑口の断面(東側)は図6-21に示す。すなわち、トンネルの坑口の背後には天王山(標高270m)の山肌が急迫しており、路線の北側は路面よりも高い斜面の山裾で南側は路面から急傾斜して低下している。上下線の間に設けられている中央分離帯の盛土部は、上り線の出口から東へ約70m付近から急斜面を

なして坑口の上端の高さ(約7m)に達する。上り線北側の側壁は高さ約1.5m(4段)で出口から約60m東まで路線に沿って続き、この間の路面は中央分離帯と側壁によって囲まれた凹状の地形の底部に位置する。下り線の南側の側壁は高さ約8m(2段)で、トンネル入口より約20m東で路面の高さに一致する。また、トンネル東口の南(下り線の路端より約50m)に換気設備(送風機形式; 横置1段軸流型、歯車減速電動駆動式、最大風量 $75\text{ m}^3/\text{s}$)¹⁵⁶⁾が備えられており、採用されているトンネル換気方式は半縦流式¹⁵⁶⁾である。すなわち、図6-22に概略を示すとおり、トンネル延長を中央で2つの換気区分に分け、上り線では出口(東口)と入口(西口)付近から送風機で新鮮な空気を送り、トンネルの天井面に設けた排出

図6-21 天王山トンネル東口付近の地形概略

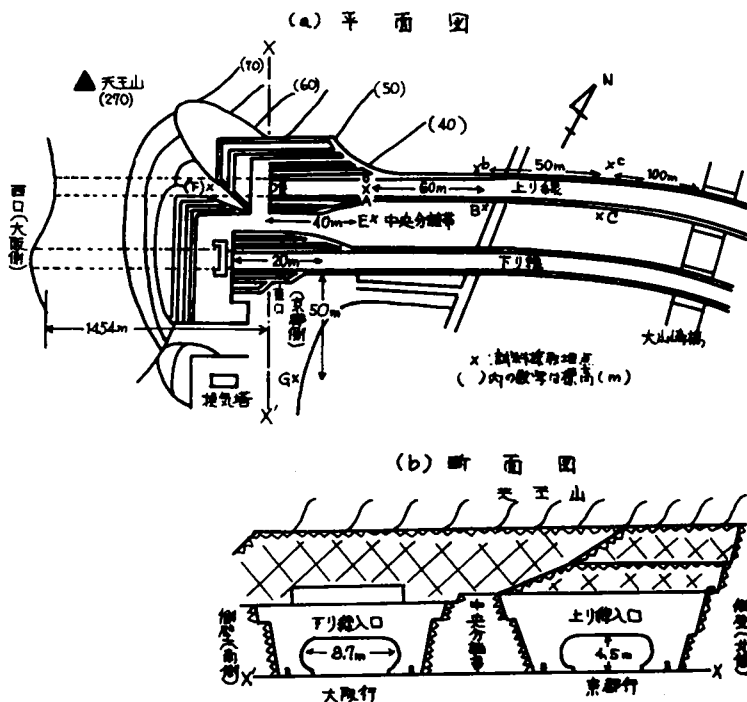
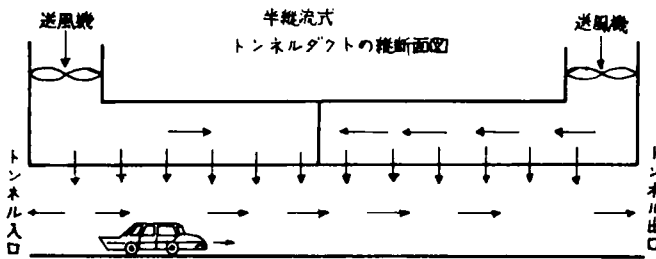


図6-22 天王山トンネルの換気方式の概略



口からトンネル内に流出させ、交通流による換気作用を利用してトンネル内の汚染空気が出口から排出されるように設計されている。

3-2-2 測定地点および日時

排気成分の測定を行なった地点は図6-21に示したとおりで、上り線（京都行）の路側（A.a, B.b, C.c），中央分離帯上（E），トンネル出口（D），トンネル出口から内方へ100m入ったトンネル内地点（F），ならびに換気塔付近（G）で、いずれも地上1.5mの高さである。

測定実施日時と当日の天候はつぎのとおりである。

第1回	昭和39年1月20日（火）晴	13°00' ~ 17°00'
第2回	〃 1月21日（水）曇	13°00' ~ 17°00'
第3回	〃 2月 1日（土）曇	13°00' ~ 17°00'
第4回	〃 2月14日（金）曇	11°00' ~ 17°00'
第5回	〃 2月15日（土）曇	11°00' ~ 17°00'
第6回	〃 5月 8日（金）晴	11°00' ~ 17°00'
第7回	〃 5月 9日（土）晴	11°00' ~ 17°00'

これらの測定を行なった際には、トンネル強制換気装置は運転を中止しており、トンネル内の換気は通過自動車による自然換気の状態、トンネル内の気流方向は常に出口側へと向った。

3-2-3 測定項目ならびに方法

1) 気象条件

トンネル内および東口付近で気温、湿度、風向ならびに風速を測定した。風向および風速は自記風向風速計（京都大学理学部地球物理教室試作）5台を使用して地上1.5mの高さで測定し、地形による風向および風速の影響を検討した。さらに、中央分離帯上で水素を充填した気球（直径約2m）にサーシスター温度計（日本科学製）の検知部を取付け、地上0~40m間の気温の鉛直分布を測定した。

2) 交通状況

測定期間中にトンネルの上下線を通過した自動車の時間あたり台数、平均走行速度および車種別通行台数を測定した。通過自動車の車速は、上り線トンネル出口から100m内側に入った地点と出口までの通過時間から求め、下り線では入口から100m内側地点までの時間から求めた。

3) 排気ガス成分

トンネルの内外で、北川式検知管法¹⁵⁾によりCOおよびCO₂濃度を測定し、インピンジャー法により捕集した試料からSO₂濃度をロザリニンホルマリン法¹⁵⁾で測定した。また、ろ紙式エアーサンプラー（山越製）を用いて浮遊ばいじんをろ紙上に捕集したのち、ばいじんスポットの濃度指数¹⁵⁾を求めた。

炭化水素は本研究、第二章で述べた濃縮トラップ法¹³⁾により、各成分を濃縮捕集したのち、GLC（柳本GC500、柳本製）で分析した。検出器はFIDで、分離カラムにはdimethyl-sulfolane（4m）+ Activated alumina（0.2m）20℃、¹³⁴⁾とdimethyl-sulfolane（5m）270℃（氷水槽中）でC₁~C₄成分を分析し、

Tricresyl phthalate (2m)¹⁵⁸⁾ 90°±1°CでC₈～C₁₀成分を測定した。また、低級炭化水素の捕集は濃縮トラップ(内径4mm,長さ20cm,硬質ガラス製U字管,1mmガラスビード,ガラスウールまたはFire-brick C-22,20～30 meshを充填)を液体窒素で冷却して行ない,高沸点炭化水素の捕集にはドライアイス-アセトンを冷媒に使用した。

3-3 測定成績ならびに考察

3-3-1 気象条件

1) トンネル内外の温湿度

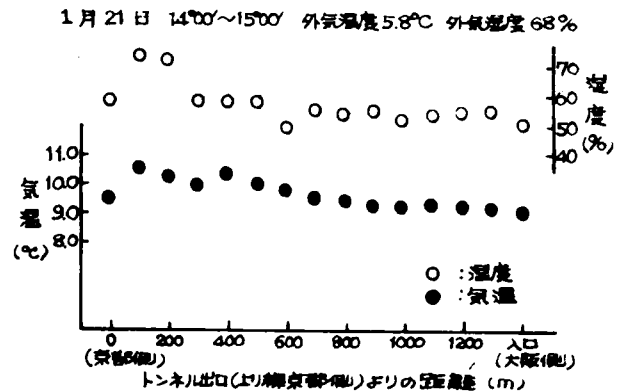
天王山トンネル付近で,合計7回の測定を行った。測定当日にトンネルの出口(上り線)から100m内方に入った地点(F),および中央分離帯上(E)で13時,15時,17時に測定した気温,ならびに湿度は表6-9に示す。1月と2月の測定で,トンネル内の気温は7.6～10.8°Cを示し,外気温よりも-0.2～6.3°C高く,その差は1月が顕著である。1月と2月のトンネル内の湿度は,気温とは逆に外気より1～1.1%低い。5月の測定では,トンネル内と外気の温度の差は小さく,外気温がトンネル内よりも0.5～2.0°C高い。外気の湿度は反対にトンネル内よりも3～1.5%低く,寒期と暖期ではトンネル内外の温湿度状態がかなり異なる。

表6-9

トンネル内外の気温(°C)

測定日	外 気					トンネル内(上り線)100m				
	13:00	15:00	17:00	13:00	15:00	17:00	13:00	15:00	17:00	17:00
1月20日	4.9	4.6	3.7	8.5	9.5	9.8				
21日	3.0	3.8	4.3	9.6	10.8	10.6				
2月1日	6.8	6.2	5.1	7.6	8.2	7.8				
14日	9.0	9.6	8.7	9.0	9.4	9.0				
15日	9.1	9.8	9.2	9.2	10.0	9.2				
5月8日	23.0	26.5	24.0	23.0	25.0	23.5				
9日	24.0	24.5	24.0	23.0	23.5	23.5				
1月21日	5.5	6.8	6.8	5.3	6.5	5.7				
2月1日	3.8	4.0	4.0	3.7	3.8	4.0				
5月8日	3.8	3.6	4.5	4.8	3.3	5.5				
9日	3.3	3.8	4.2	4.8	4.4	3.5				

図6-23 トンネル内の温度分布(上り線)



1月21日,14～15時にトンネル内(上り線)で,出口(京都側)から100mごとに路上(1.5m)で測定した気温および湿度の分布は図6-23に示す。その際の外気温は5.8°C,湿度は68%である。トンネル内の気温は8.0～11.0°C,湿度は52～7.4%を示し,トンネル入口側(大阪側)からわずかに上昇して,出口から100～500m地点の気温がもっとも高く,出口点では外気温に影響されて大きく低下する。湿度の分布も気温とほぼ同様の傾向を示すが,出口より100mと200m地点の値がとくに高い。トンネル出口の近くでの気温の上昇は通過自動車の排気温度が150～500°C¹⁵⁹⁾と非常に高く,トンネル内の気流が常に出口側

に向っているため,湿度の上昇も排気に多量に含まれる水分¹⁰⁰⁾によるものと考えられる。

2) 気温の鉛直分布

中央分離帯上(E)で,1月20日,21日,2月1日,5月8日,9日の15時～16時に測定した地上40mまでの気温の鉛直分布は表6-10に示す。1月20日,21日,2月1日には地上約30mの高さに気温の弱い逆転の発生

表 6-10 気温の垂直分布 (°C)
(中央分離帯上坑門より 40 m)

高さ (m)	1月20日 15:00	1月21日 15:00	2月7日 15:00	5月8日 15:00	5月9日 15:00
0	4.6	5.8	6.0	29.0	29.0
10	2.9	4.4	4.4	29.0	28.6
20	1.7	4.4	4.5	28.0	28.4
30	2.6	4.8	4.8	28.0	28.0
40	2.3	4.8	4.6	27.5	27.6
T	—	—	—	3.75	3.50

がみとめられ、5月8日と9日の気温の減率¹⁶¹⁾は3.5~3.75°C/100mである。また、1月20日(15時)に中央分離帯上で、トンネルの出口点から150m東地点までについて、測定した気温の鉛直分布を地点別に示すと図6-24のとおりで、トンネル出口から40m地点までは地上約30mに気温の弱い逆転の形成がみとめられる。さらに、出口から100m地点では気温の逆転が消失する。

出口付近の山肌に近いところでは大気が

安定し、山肌から離れると地上風による攪乱効果などにより

安定状態が乱されると考えられる。5月9日に中央分離帯上

(E)で時刻別に測定した気温の鉛直分布、ならびに気温減

率は表6-11に示す。気温の逆転はみられず、12~17

時では気温減率がしだいに低下する傾向を示す。一般に、大

気の安定状態は暖期よりも寒期の低風速の際に多く現れ、暖

期の日中には通減状態で夜間は夏を除いて逆転状態となる。

160) 162) 本測定でも1月と2月にはトンネルの出口から

40m付近までに地上約30mの低層に気温の逆転、すなわ

ち、大気の安定状態が発生し、トンネルから排出された汚

れ物が上方に拡散希釈されずに地表に停滞して有害成分の蓄積、

あるいは光化学反応による二次生成物¹⁶³⁾を生じ、出口周

辺の動植物に甚大な障害を与える^{164)~170)}ことが推察さ

れる。

図 6-24 気温の鉛直分布 (地点別)
1月20日 15:00

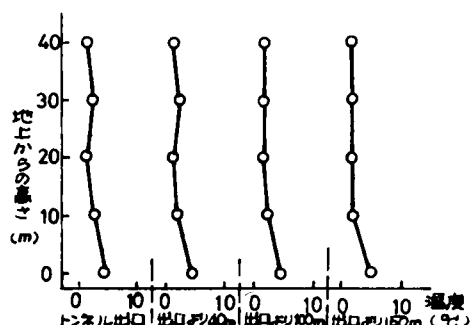


表 6-11 気温減率の時間的差異 (°C)

時刻	0	10	20	30	40	減率 °C/100m
12:00	27.5	26.9	26.8	26.4	25.9	4.00
13:00	28.6	28.2	28.0	27.4	27.0	4.00
14:00	28.0	27.8	27.2	26.8	26.5	3.75
15:00	29.0	28.6	28.4	28.0	27.6	3.50
16:00	27.5	27.5	26.6	26.3	26.4	2.83
17:00	27.0	26.8	26.6	26.4	26.2	2.00

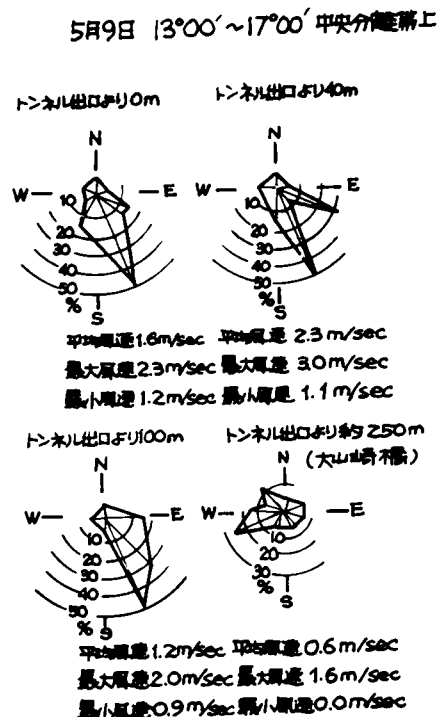
3) 風向と風速

中央分離帯上 (E) で 13 時、14 時および 16 時 30 分に測定した外風の風向と風速の成績は表 6-12 に示す。1 月と 2 月の外風速は 0.3～5.2 m/sec で、5 月は 1.1～3.0 m/sec である。1 月と 2 月に外風向 (北東) がトンネル出口に向うことがみられるが、出口から約 60 m 付近までの路線は北側の側壁と中央分離帯の盛土部に囲まれ、そのうえ出口より約 80 m 付近から路線がゆるやかにカーブしているために、外風速が低い場合にはトンネル排気の流出に直接影響を及ぼすことは少ないとも考えられる。しかし、外風速が大きくて風向がトンネル出口に直面する場合には、トンネル排気が押戻されて汚染物がトンネル内に充満し、視程の減少などの障害が発生する可能性も少なくない。5 月 9 日 (13 時～17 時) に、トンネル出口から約 250 m 離れた大山崎橋までについて測定した風向および風速の変化を地点別に図 6-25 に示す。トンネルの出口 (上り線) と出口から 100 m 地点までの風向 (南南東) および風速 (平均 1.6～2.3

表 6-12 風向と風速
(中央分離帯上 E 地点)

月日	時刻	3°00'	14°30'	16°30'
1月20日	風向	NW	N	NE
	風速 m/sec	1.6	1.8	0.5
1月21日	風向	SW	NW	NW
	風速 m/sec	0.3	0.6	0.6
2月1日	風向	SE	SE	SE
	風速 m/sec	2.8	5.2	1.5
2月4日	風向	SE	NE	E
	風速 m/sec	0.5	1.2	0.7
2月15日	風向	SE	NE	E
	風速 m/sec	0.5	1.2	0.7
5月8日	風向	SSW	ESE	SSE
	風速 m/sec	1.2	1.4	2.0
5月9日	風向	ESE	SSE	S
	風速 m/sec	3.0	2.1	1.1

図 6-25 天王山トンネル東口付近の風配図



m/sec) には大差がなく、大山崎橋地点では主風向は西南西に変わり、平均風速も 0.6 m/sec とかなり異なっ

た分布を示す。一般に、低い山や丘の斜面に沿って流れる山風および谷風は谷の方向や山の斜面の状態などによって変わり、多くは日中山頂に向って吹き、日没後は逆に吹く、この変動は日射が主な原因であるため斜面の方位で大きく異なるが、風速は 2～4 m/sec である¹⁶²⁾といわれている。本測定でも、トンネル出口からやや離れた地点と出口近くの風向ならびに風速の分布はかなり異なり、山裾の地形が凸凹をなしていることによって変形された地衡風¹⁶²⁾であることを示す。

表 6-13 トンネル内の風速 (上り線) (m/sec)

月日	1月20日	2月1日	2月4日	2月15日	5月8日	5月9日
時刻	15°00'	15°00'	15°00'	15°00'	15°00'	15°00'
トンネル内 (E 側)	2.7	2.5	0.4	1.4	1.8	3.2
外風向	ESE	S	NE	NE	S	SSE
外風速	0.7	1.8	1.2	0.6	1.1	2.9

各測定当日の 15 時にトンネルの出口 (上り線) と、出口から 100 m 内方へ入った地点 (F) での風速を表 6-13 に示す。表にはその際のトンネル外 (中央分離帯上) をも示す。トンネル内の風速は 1 月と 2 月が 1.9～2.9 m/sec で、5 月にくらべてやや低い。トンネル出口の風速は 100

m内側の地点よりやや低く、外風がわずかながら影響するものとみられる。しかし、トンネル内の気流方向は出口側へと一定である。

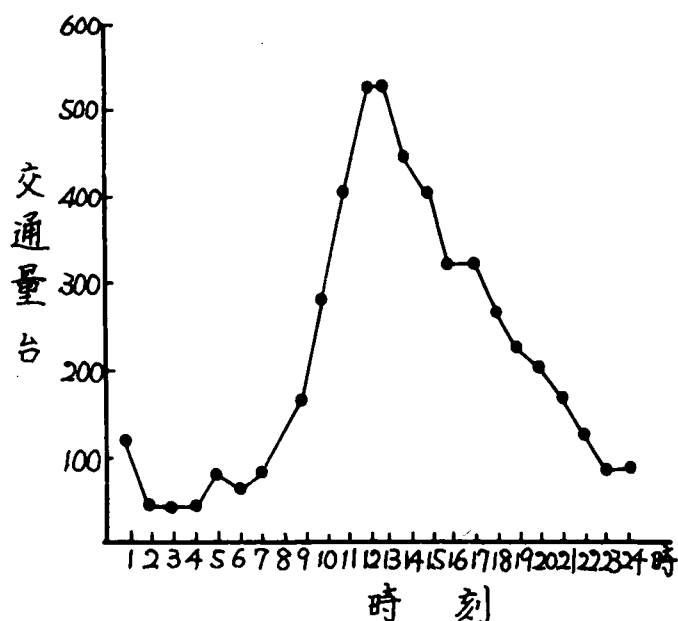
3-3-2 交通状態

調査当日の11～17時に上り線（京都行）で測定した時間別の交通量は表6-14に示す。表には1月21日と5月9日に下り線（大阪行）で測定した値をも示す。各測定日の上り線の平均交通量は241～250台/時で、これにくらべて下り線の交通量はやや少な

表6-14 時刻別交通量（台）

時刻	上り線（名古黒行）								下り線（大阪行）	
	1月21日	1月21日	1月21日	1月21日	1月21日	1月21日	1月21日	1月21日	5月9日	5月9日
11:00～12:00	—	—	—	—	—	—	—	324	—	258
12:00～13:00	—	192	192	222	324	276	444	87	198	—
13:00～14:00	248	322	192	258	330	438	474	124	354	—
14:00～15:00	258	226	288	234	470	288	516	171	378	—
15:00～16:00	210	264	316	340	414	512	480	198	426	—
16:00～17:00	268	240	220	276	348	360	462	135	444	—
平均	244	249	241	246	377	335	450	143	322	—

図6-26 天王山トンネルにおける時間別交通量（道路公団の資料2月9日による）



い。上下線の交通量は15～17時にやや増加するようであるが、この成績では経時変化は顕著でない。

名神高速道路の計画最大交通量156は片側路線当り20,000台/日（平均833台/時）で、日本道路公団天王山トンネル管理事務所の自記記録紙（2月～5月）から、終日交通量の読取りが可能であった2月9日の資料による交通量の経時変化は図6-26に示す。すなわち、時間当り交通量は12～13時にもっとも大きく、この間に終日交通量の約10%が通行し、本章第2節で述べた12時付近で交通量が減少する大阪市内とはかなり異なった傾向を示す。また、10～18時の交通量合計は終

日交通量の約70%を占める。この割合から推定すると、本測定時の交通状態（上り線）は計画最大交通量のほぼ $\frac{1}{4}$ 程度となる。

1月21日の13～17時に、上下線を通行した自動車の車種別構成と平均走行速度（トンネル東口点）は表6-15に示す。車種構成では上下線とも大型および中

表6-15 車種構成と平均速度 1月21日 12:00～17:00

車種	車種構成 (%)		平均走行速度 (%)	
	上り線	下り線	上り線	下り線
大型乗用車*	38.7	31.5	89	93
中型乗用車*	31.1	37.1	86	78
小型乗用車*	3.6	6.9	79	75
トラック	22.0	20.6	65	56
バス	1.2	0.2	69	64
三輪(軽)	3.4	3.8	68	72
計	100.0	100.0	—	—
総台数	1244	717	—	—

*印は貨車を含む

型乗用車（貨客車を含む）がともに約32～38%で、これらの車種で通過自動車のほぼ70%を占める。ついで、トラックが約21～22%と多く、バスはもっとも少ない。本測定当時は名神高速道路の全線が未だ開通していなかったために、長距離走行のトラックやバスの利用度が低く、このような値を示したものと考えられる。

上下線とも、トンネル内の路面はやや勾配（上り線-0.85%，下り線+1.50%）をもっているが、表にみられるように通行する自動車の速度にはほとんど影響がなく、乗用車の速度が平均75～93Km/hともっとも大きく、トラックが56～65Km/hともっとも小さい。

3-3-3 亜硫酸ガスおよび浮遊ばいじん

5月8日と9日に

トンネル（上り線）

出口から100m内

側に入った地点、出

口および中央分離帯

上で測定したSO₂

濃度は表6-16に

示す。トンネル排気

のSO₂は主として

ジーゼル車の排気に

もとづく(166)もの

で、トンネル内では0.01～0.025ppmを示す。この値は日本公衆衛生協会の答申による環境許容基準値¹⁷⁰⁾(0.1ppm)にくらべて $\frac{1}{4}$ ～ $\frac{1}{10}$ ときわめて低いが、SO₂と炭化水素によるエアロゾルの発生¹⁶⁸⁾などの点から無視することはできない。トンネル出口でのSO₂濃度はトンネル内よりもやや低く、出口から40m地点ではトンネル内の濃度の $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{25}$ に低下した。

また、浮遊ばいじん濃度指数(m³あたり)はトンネル内3.1～3.5、出口2.7～3.6と大差なく、出口から40m地点0.9～1.3、中央分離帯上0.1～0.4と大巾に低下した。トンネル内の浮遊ばいじんはジーゼル車の排煙粒子、燃焼排気中の炭素の凝集(タール)、ならびに自動車の走行による砂じんなどが主な原因であるが、排気のタール成分中に含まれる芳香族成分による発癌性や植物損傷が軽視できない。

3-3-4 炭化水素およびCO, CO₂

1) トンネル内外における実態

トンネルの内外の空気から、合計30種のC₁～C₁₀炭化水素をGLCで検出、同定した。検出成分はC₁～C₄パラフィン5種(methane, ethane, propane, n-butane, i-butane), C₅～C₈パラフィン9種(n-pentane, i-pentane, n-hexane, i-hexane, 3Me-pentane, n-heptane, i-heptane, n-octane, i-octane), C₂～C₄オレフィン7種(ethylene, propylene, butene-1, butene-2, i-butylene, propadiene, butadiene 1, 3), アセチレン1種(acetylene), C₅～C₈オレフィン4種(pentene-1, pentene-2, hexene-1, hexene-2), 芳香族4種(cyclohexane, benzene, toluene, xylene)である。ここでxyleneにはm-xylene, o-xylene, p-xyleneの3種の異性体が存在するが、本測定に用いた分離カラム(T.C.P.)はm-xyleneとo-xyleneを分離できず、¹⁵⁸⁾ここでは両者の合計値を示す。

表6-16 亜硫酸ガス濃度(ppm)

月 日	5月8日					5月9日				
測 定 点	1-2	2-3	3-4	4-5	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5
トンネル内100m	0.010	—	—	0.015	0.020	—	0.020	—	0.025	—
出口	—	0.008	0.010	—	—	0.015	—	0.010	—	0.010
出口より40m	—	0.004	—	—	0.001	—	—	0.010	—	—
中央分離帯上40m	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
トンネル出口100m	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
気象観測所	43.8	28.9	31.2	36.0	32.4	44.4	47.4	37.6	48.0	46.2

表6-17

炭化水素の測定成績

月日	場所	交通量 (台/h)	検出 成分数	C ₁ ~C ₄ (ppm)	C ₁ ~C ₄ (ppm)	C ₁ ~C ₄ (ppm)	C ₁ ~C ₄ (ppm)	芳香族 (ppm)	総炭化水素 (ppm)
1月20日	出口	258	27	427.5	216.1	235.6	3.0	16.1	898.3
	出口より100m	248	14	7.2	1.4	1.7	0.0	0.1	10.4
1月21日	トンネル内	322	30	495.2	168.6	227.7	2.6	23.2	917.3
	出口より40m	240	22	42.3	16.4	15.6	0.0	0.1	75.4
	出口より100m	288	14	7.5	1.3	1.6	0.0	0.0	10.4
	中央分離帯	222	11	1.0	0.4	0.4	0.0	0.0	1.8
2月1日	出口	316	29	552.8	269.5	331.8	3.0	25.8	1182.9
	出口より100m	192	14	2.3	1.1	1.0	0.0	0.2	4.6
2月14日	トンネル内	324	30	487.9	216.5	293.8	2.2	21.1	1021.5
	出口より40m	276	13	3.0	0.9	0.8	0.0	0.2	4.9
	出口より100m	258	10	1.1	0.2	0.3	0.0	0.0	1.6
2月15日	出口	330	30	517.1	226.6	240.4	1.9	21.4	1007.4
	出口より40m	470	22	27.6	10.8	19.5	0.1	1.8	59.8
	出口より100m	414	16	3.0	0.4	2.2	0.0	0.2	5.8
5月3日	トンネル内	438	30	483.7	275.1	268.1	2.3	26.5	1055.7
	出口より40m	312	15	2.5	0.3	0.8	0.0	0.2	3.8
	出口より100m	289	13	2.0	1.5	1.2	0.0	0.1	4.8
5月9日	トンネル内	462	30	594.8	305.2	305.3	3.7	31.9	1240.9
	出口	324	30	494.2	201.4	246.5	2.9	19.9	964.9
	出口より40m	474	19	45.3	20.3	25.5	0.0	1.8	92.9
	出口より100m	480	11	0.8	0.2	0.3	0.0	0.1	1.4
	出口より150m	467	10	0.3	0.2	0.3	0.0	0.2	1.0
	中央分離帯	516	12	1.8	0.9	1.0	0.0	0.1	1.4

昭和39年1月20日から5月9日の間に測定した炭化水素の成績を上記の分類について示すと表6-17のとおりである。表ではacetyleneをC₂~C₄、不飽和に含め、各測定時刻の交通量(台/時)をも示す。C₁~C₄、パラフィンがどの地点でももっとも大きく、C₅~C₈、パラフィンとC₂~C₄、オレフィンがついで大きい。炭化水素合計はトンネル内(100m内側の地点)で約917~1,241ppm(平均1,058.9ppm)を示し、トンネル出口(約898~1,183ppm, 平均1,013.4ppm)はわずかに低い。トンネルの出口から40m離れた路側地点では約60~93ppm(平均76.0ppm)と、トンネル内の約 $\frac{1}{14}$ に低下して、トンネル排気が急速に拡散希釈していることを示す。トンネルの出口から100mの地点(路側から5m)は1.4~10.9ppm(平均5.3ppm)で、トンネル内の約 $\frac{1}{150}$ に減少する。中央分離帯上(出口から40m, 路面より高さ約3m)は合計1.6~4.8ppm(平均2.4ppm)で、出口から同じ距離の路側地点の約 $\frac{1}{20}$ に減少した。このことは、路側の北側壁が高く外風を遮るために、トンネルから排出された気流がそのまま路面上を押し流され、中央分離帯の盛土斜面を這い上ることが少ないとみられる。トンネル出口から150m地点(路側より約10m)での炭化水素は合計1.0~4.6ppm(平均2.8ppm)で、出口から100m地点と大差がない。

炭化水素合計と溶成分の値（平均値）をトンネル出口からの距離について図6-27に示す。出口からの距離が増大するにつれて各成分区ともほぼ同様の減少傾向を示す。いずれもトンネル出口から100m地点までに大巾に減少し、100mから150m地点では大きな変化がなく、通過自動車により押流されるトンネル排気流の影響は出口から100mまでとみられる。また、トンネル内の合計濃度と各成分区の値とから求めた距離による減衰比率は表6-18に示す。出口から40m地点ではC₅～C₈オレフィンがトンネル内の3.7%と大巾に減少し、芳香族は約1.6%である。他の成分区は約20～23%と大差はない。出口から100m地点では、C₅～C₈オレフィンがもはや検出されず、C₁～C₄パラフィンが0.8%とやや大きいほかは0.3～0.4%である。中央分離帯上および出口から150m地点は0.2～0.6%で、C₅～C₈オレフィンはない。下り線（路側）から約50m南へ離れた換気塔付近では、C₁～C₄

図6-27 トンネル出口からの距離と炭化水素濃度

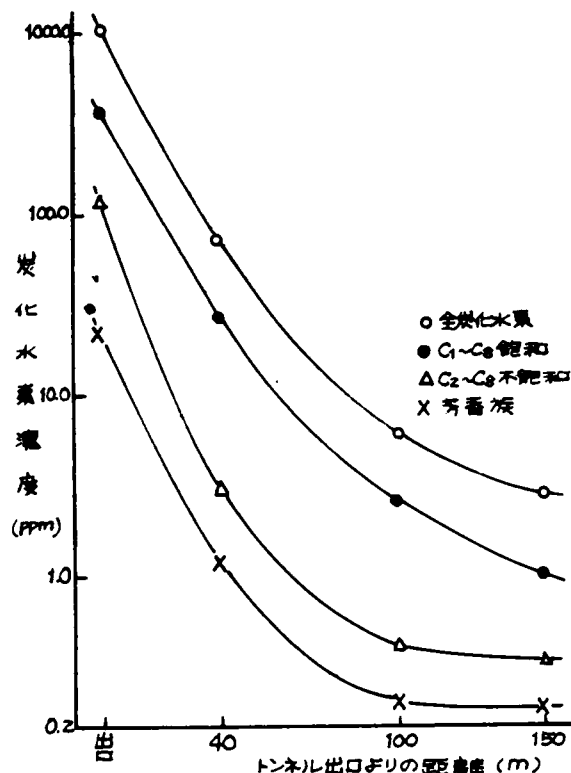


表6-18

トンネル内炭化水素の成分別減衰比率
(トンネル内の値を100.0%とする)

分類	場所	トンネル内 (%)	出口より40m (増減)(%)	出口より100m (増減)(%)	出口より150m (増減)(%)	増減率 (%)	中央分離帯 (出口より40m)
C ₁ ～C ₄ 飽和炭化水素	100.0 (506.7)	22.9	0.8	0.3	0.02	0.3	
C ₅ ～C ₈ 不飽和炭化水素	100.0 (234.9)	20.2	0.3	0.3	0.0	0.3	
C ₉ ～C ₁₀ 飽和炭化水素	100.0 (269.7)	22.5	0.4	0.3	0.01	0.3	
C ₁₁ ～C ₁₄ 不飽和炭化水素	100.0 (2.7)	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
芳香族炭化水素	100.0 (23.2)	15.9	0.4	0.6	0.0	0.2	

ただし()内は炭化水素の平均値 ppm

パラフィンとC₅～C₈パラフィンのみが検出され、トンネル内の0.01～0.02%と大巾に減少する。オレフィンの急速な消失はこれらの成分が比較的不安定な化合物で、大気中で速やかに光化学的変質を受ける(168,169)ことによると考えられる。

トンネル内の炭化水素の構成比はパラフィン71.2～78.8% (平均74.5%)、オレフィン17.8～26.3% (平均22.8%)、芳香族1.7～2.5% (平均2.2%)で、トンネル出口もほぼ同様である。これらの構成比は全調査を通じて大きな変動がなく、

第三章で述べた自動車の排気の場合にくらべるとパラフィンの割合がやや大きいほかには大差がない。

測定期間が1.2月の寒期と5月の暖期にわたったことから、炭化水素の成績を

表6-19

寒期と暖期の減衰比, %

項目	トンネル内 平均値	出口より 40m	出口より 100m	出口より 150m	中央分離帯 (出口より40m)
1.2月 (105.9)	6.31	0.77	0.44	0.16	
5月 (102.2)	8.54	0.24	0.09	0.29	

1. 2月と5月に分け、トンネル内の平均濃度を100%として各地点の濃度が示す比率を求めると表6-19のとおりである。表では、トンネル出口の濃度をトンネル内として平均した。トンネル出口から40m地点(路側)では寒期、暖期ともトンネル内の7~9%に低下しており、減少傾向に大差はない。出口から100m離れた地点(路側)の寒期は0.77%で、暖期は0.24%と約 $\frac{1}{3}$ に低下する。出口から150m地点でも暖期(0.09%)は寒期の約 $\frac{1}{4}$ と低い。これらのことから、寒期にトンネル排気が路面上に停滞する割合は大きく、暖期には出口から約40m地点までに路面から上方向へ拡散される度合いが大きいものと考えられる。このことは、出口から40m離れ、路面より約3mの高さにある中央分離帯上の成績が、路側とは反対に暖期(0.29%)が寒期(0.16%)よりも大きいことからみとめられる。

5月9日の炭化水素は表6-20に示す。表には測定時刻ならびに交通量(上り線)を示す。トンネル内および出口では、C₁~C₄パラフィン、C₂~C₄オレフィンのなかでethylene, propyleneならびにC₃, C₄パラフィン濃度が比較的大きく、植物に有害¹⁶⁶⁾なethyleneおよびpropyleneは約76~131ppmを示した。C₄~C₆オレフィンはi-

butyleneが約10ppmとやや大きいほかは、

いずれも2ppmより低い。

芳香族のなかでは

benzeneが約10ppm

を示しており、Alt-

shullerら³⁸⁾が、自動車排気中の値(5.1ppm)

と述べているのより

もかなり大きい。また、

光化学スモッグの激しい

ときの大気が自動車排気

を $\frac{1}{500} \sim \frac{1}{1000}$ に希

釈した状態である³⁸⁾と

述べられている。本測定

のトンネル出口から100

~150m地点(路側)で

の炭化水素はトンネル内

の $\frac{1}{370}$ 程度で、かなり

汚染度が高く、大気が安

定した時などに光化学作

用にもとづく種々の障害

の発生する可能性も小さ

くないと考えられる。

トンネル内の炭化水素

の平均からmethane,

ethane, ethylene,

propane, i-butane,

n-butane, 約94~

111ppm, i-pentane,

表6-20

個々の炭化水素成分の測定値 5月7日(ppm)

成分	トンネル内 平均(ppm)	トンネル 出口(ppm)	出口より 40m路側 (ppm)	出口より 40m中央 (ppm)	出口より 100m路側 (ppm)	出口より 150m路側 (ppm)
合計	1240.9	964.9	92.9	3.8	1.4	1.0
methane	101.6	96.7	8.8	0.4	0.1	0.1
ethane	104.1	94.7	10.2	0.4	0.2	0.1
propane	161.6	122.0	10.4	0.4	0.2	0.1
i-butane	103.5	93.0	9.0	0.1	0.2	0.0
n-butane	124.0	89.4	6.9	0.5	0.1	0.0
ethylene	126.5	75.5	9.1	0.6	0.2	0.1
propylene	130.7	88.0	6.6	0.2	0.1	0.1
acetylene	32.4	26.0	4.1	0.1	0.0	0.1
butene-1	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
butene-2	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
i-butylene	11.6	9.4	0.5	0.0	0.0	0.0
butadiene-1,3	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
i-pentane	56.4	44.5	5.0	0.2	0.1	0.0
n-pentane	88.4	62.7	5.1	0.4	0.1	0.1
i-hexane	66.4	48.1	3.6	0.4	0.1	0.1
n-hexane	59.7	66.9	7.4	0.0	0.0	0.0
3-methylpentane	14.4	7.9	2.0	0.0	0.0	0.0
i-heptane	6.0	7.1	1.0	0.0	0.0	0.0
n-heptane	7.2	4.8	0.3	0.0	0.0	0.0
i-octane	4.8	3.5	0.1	0.0	0.0	0.0
n-octane	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
amylene	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
pentene-1	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
pentene-2	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
hexene-1	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
hexene-2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
cyclohexane	2.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
toluene	8.9	6.0	0.2	0.0	0.0	0.1
benzene	13.8	9.8	1.6	0.1	0.1	0.1
xylene	7.2	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0

n-pentane, i-hexane 約 60~72ppm, propylene 約 80ppm, n-hexane, acetylene 約 41~44ppm, 3Me pentane, benzene 約 10~15ppm が比較的高い値を示す。

下り線入口より東へ 20m の路端から、さらに南へ 50m 離れた換気塔付近で、1月21日と5月9日に測定した炭化水素の成績は表 6-21 に示す。検出成分は C₁~C₆。パラフィンのみの 6~7 種で、検出合計も 0.06ppm, 0.14ppm ときわめて低く、トンネル内濃度の約 $\frac{1}{10}$ である。Altshuller¹⁴¹⁾ が、都市大気中の炭化水素 (0.1ppm) として述べているのとはほぼ同程度で、本章第2節での大阪市内および大阪府下の交差点での濃度、ならびに Goldsmith¹⁴²⁾ が都市の交差点での値 (0.94~2.33ppm) として述べているのとくらべてかなり低い。

表 6-21 換気塔付近の炭化水素 (ppm)

成分	1月21日	5月9日
methane	0.02	0.01
ethane	0.04	0.01
propane	0.02	0.01
i-butane	0.01	—
n-butane	0.02	0.01
n-pentane	0.02	0.01
n-hexane	0.01	0.01
合計	0.14	0.06

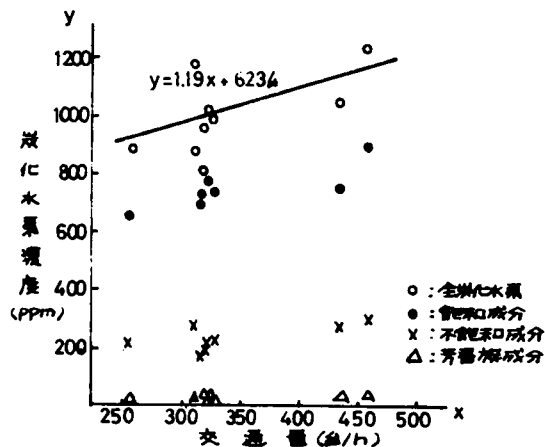
トンネル内の炭化水素合計と自動車の通過台数の関係は図 6-28 のとおりである。図には、パラフィン、オレフィン、芳香族および炭化水素合計についても示した。炭化水素合計は交通量の増加につれて増大を示すが、オレフィンおよび芳香族の増加傾向はパラフィンほど顕著ではない。交通量 (台/時) と炭化水素濃度 (ppm) の関係は

$$y \text{ (ppm)} = 1.19x \text{ (台/時)} + 623.4 \quad \dots\dots\dots (6-5)$$

となる。

ここで、終日交通量の約 70% が通行する 10~18 時について、交通量が計画最大値 (1,750 台/時) に達した際のトンネル内の炭化水素濃度を上記の関係から推測すると約 2,700 ppm となる。しかし、これはトンネルの換気装置の運転が停止している場合の推測である。強制換気でトンネル内に新鮮な外気を多量に送るとトンネル内の汚染物の濃度を低下させるが、トンネル出口から排出される汚染物の絶対量を減少させることにはならず、むしろトンネル排気の流出速度が大きくなるために汚染空気による影響範囲が拡大される懸念がある。とくに冬期および暖期の夜間などにトンネルの出口近くで気温の逆転層が発生する場合には、汚染物が広い地域にわたって停滞蓄積することも考えられる。これらのことから、自動車からの汚染物の排出を軽減する方策の必要性が認識される。

図 6-28 交通量とトンネル内の炭化水素濃度



トンネル内 (上り線, 出口から 100m, F) での CO₂ 濃度は 0.5~1.5% で、CO 濃度は 80 ppm 以下を示し、ともに全調査期間を通じて大きな変化はない。測定時の交通量とトンネル内の CO および CO₂ 濃度の関係は図 6-29 に示す。いずれも交通量とともに増大し、これらの関係はつぎのように示される。

CO₂ については

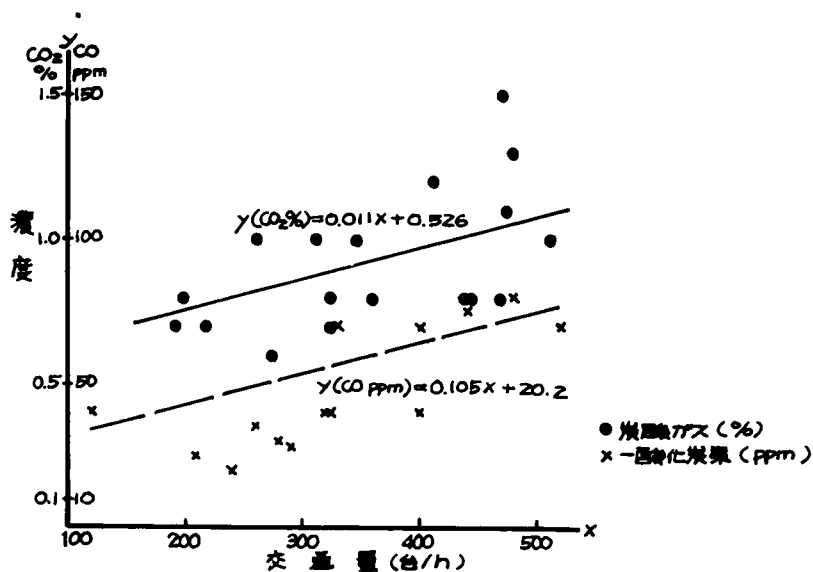
$$y \text{ (％)} = 0.11x + 0.526 \quad \dots\dots\dots (6-6)$$

CO については

$$y \text{ (ppm)} = 0.105x + 20.2 \quad \dots\dots\dots (6-7)$$

図6-29 トンネル内の炭酸ガスおよび一酸化炭素濃度と交通量

ここで、 x は交通量、台/時
 CO および CO_2 とも交通量にたいする増加傾向はほぼ同程度である。これらの関係式から、計画最大交通量時（1750台/時）におけるトンネル内の炭度を推定すると、 CO_2 炭度は約2.5%、 CO 炭度は約200ppmに達し、 CO 炭度については労働衛生上の許容値¹⁴³⁾（100ppm）を越えることになり、トンネルを通過するドライバーや作業員に障害を起す危険性がある。



3-4 強制換気によるトンネル内濃度の推定

前述の天王山トンネル内における炭化水素および CO の測定成績は、いずれも同トンネルに設備されている強制換気装置の運転が停止している場合に行なったもので、機械換気により新鮮な空気がトンネル内に送入された場合には、トンネル内の汚染物炭度は当然低下する。このトンネルには送気量を8段階に制御できる換気設備が設けられており、送気段階によるトンネル内の炭化水素、および CO 濃度の変化を本測定の成績にもとづいて推定するとつぎのとおりである。すなわち、このトンネルの換気設備の送気制御（8段階）と送気量（ m^3/sec ）の関係は図6-30に示すとおりで、制御段階 G 、と送気量 V との関係は

$$V (m^3/sec) = 16.6G + 5.7 \quad \dots\dots (6-8)$$

となる。

また、道路トンネル内の汚染物質の平均炭度は次式¹⁶⁷⁾で示される。

$$\frac{\bar{X}}{A} = \frac{\mu}{Q \cdot T} = \frac{L \cdot N \cdot \mu}{S \cdot \bar{u}} \quad \dots\dots (6-9)$$

ここで、 A ；トンネル内の容積， m^3 ，

Q ；単位時間あたりの換気量， $m^3/h/Km$ ，

T ；自動車の平均時間間隔， h ，

μ ；自動車の平均汚染物量， $m^3/台/Km$ ，

\bar{X} ；トンネル内の汚染物量， m^3 ，

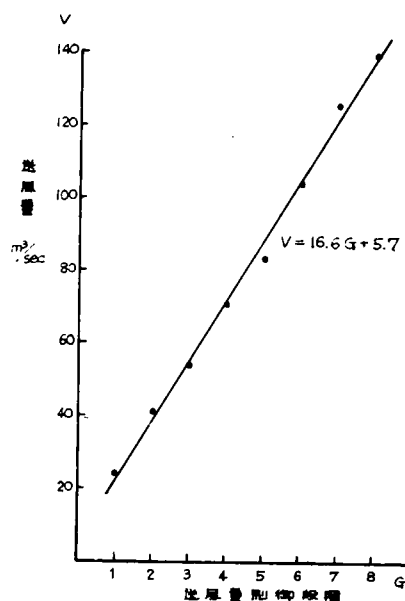
N ；交通量，台/ h ，

S ；トンネルの断面積， m^2 ，

L ；トンネルの長さ， Km ，

\bar{u} ；トンネル内の平均風速， m/h ，

図6-30 換気量制御段階と送風量



天王山トンネルで、排気成分と同時にトンネル内の風速の測定を行なった成績はすでに述べたとおりであるが、この場合には強制換気が行なわれていなかったことから、トンネル内の気流はトンネルを通過する自動車による自然換気を示すものとみられる。そこで実測のトンネル内の平均風速と、その際の交通量との関係をプロットすると図6-31のとおりで、かなり大きな変動がみられるが、交通量 N 台/時と風速 v m/sec の回帰式は

$$v \text{ (m/sec)} = 1.06 + 0.47 \times 10^{-2} N \quad \dots (6-10)$$

となる。

それゆえ、上記の式6-9のトンネル内の平均風速、 \bar{u} 、は交通量による換気と強制換気による送風量による風速との和である。ここで、強制送風によるトンネル内の風速は平均的に送気量をトンネル容積で割った値とみなし、外風がトンネル内の風速に影響しないものとする。すなわち、トンネル内の平均風速 \bar{u} (m/h) は

$$\bar{u} \text{ (m/h)} = 3600 \left(v + \frac{V}{S \cdot L} \right) \quad \dots (6-11)$$

となる。

ここで、天王山トンネルの値 $S \doteq 50 \text{ m}^2$ 、 $L \doteq 1.4 \text{ km}$ を代入すると、トンネルを通過する自動車による自然換気と換気装置の風量制御段階とからトンネル内の平均風速 (\bar{u} m/h) はつぎのように示される。

$$\bar{u} \text{ (m/h)} = 3600 \left\{ (1.06 + 0.47 \times 10^{-2} N) + \frac{16.6G + 5.7}{50 \times 1.4} \right\} \quad \dots (6-12)$$

ここで、 G ; 風量制御段階、 N ; 交通量 台/時

これを式6-9に代入すると、トンネル内の汚染物の平均濃度、 $\frac{\bar{X}}{A}$ 、は

$$\frac{\bar{X}}{A} = \frac{L \cdot N \cdot \mu}{S \bar{u}} = \frac{5.44 \times 10^{-4} \cdot N \cdot \mu}{0.329 N + 16.6G + 79.9} \quad \dots (6-13)$$

となる。

ここで、天王山トンネル内の炭化水素の実測平均値 1058.9 ppm と、平均交通量 309 台/時を上式に代入し、このトンネルにおける自動車の平均汚染物排出量 (炭化水素) μ_{HC} は

$$\mu_{HC} = 1.207 \text{ m}^3/\text{台/km} \quad \dots (6-14)$$

となる。

これらのことから、トンネル内の炭化水素濃度、 $X_{HC} \text{ ppm}$ 、交通量、 N 台/時、換気制御段階、 G 、の関係式はつぎのように示される。

$$X_{HC} \text{ (ppm)} = \frac{\bar{X}}{A} \times 10^{-6} = \frac{657 \cdot N}{0.329 N + 16.6G + 79.9} \quad \dots (6-15)$$

ただし、 G の値は0から8までの範囲であり、 $G=0, 2, 4, 6, 8$ について交通量と炭化水素濃度の関係をプロットすると図6-32のとおりである。図には交通量0～2,000台/時の範囲について示す。交通量の増大につれて炭化

図6-31 交通量とトンネル内の風速の関係
(天王山トンネル上り線)

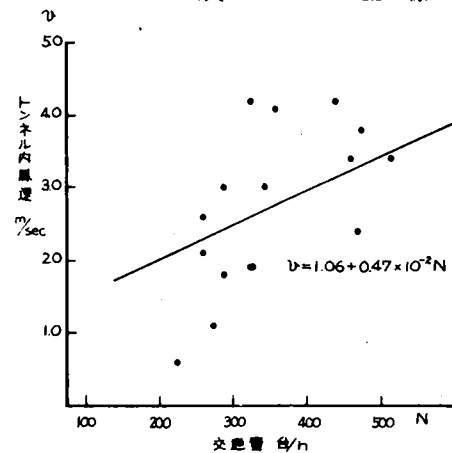
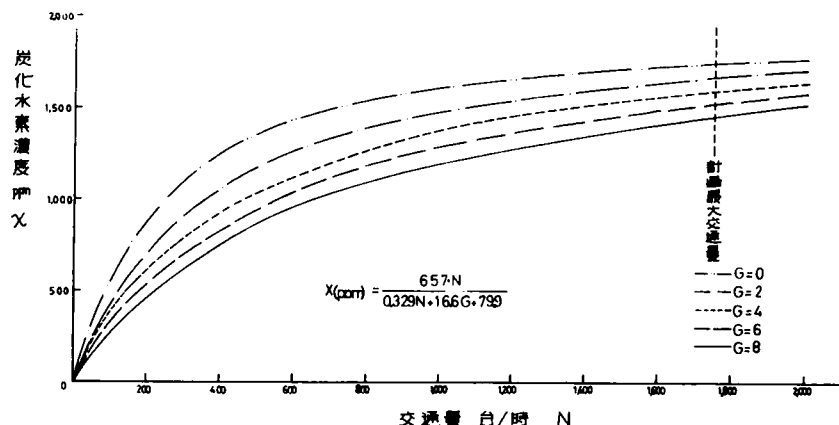


図 6-32 交通量および制御段階によるトンネル内の炭化水素濃度の推定



水素値も上昇し、換気装置による送風量の増加によって濃度は低下を示す。とくに、交通量が0～800台/時の間における炭化水素濃度の増大傾向は大きく、さらに交通量が大きくなると、通過自動車によるトンネルの自然換気量が増大して、濃度の上昇勾配はややゆるやかとなる。

天王山トンネルでの実測では、1日の交通量の70%が10時から17時の間に通過しており、名神高速道路の計画最大交通量時（片側20,000台/日）のこの時間帯の平均交通は1,750台/時に達することになる。この場合のトンネル内の炭化水素を実測のトンネル内濃度と交通量の回帰式（式6-5）から推測すると約2,700ppmに達すると前節で述べた。上記の式6-9を適用して、計画最大交通量時の濃度を推測すると、強制換気の行なわれていない場合（ $G=0$ ）で交通量1,750台/時における X_{HC} (ppm)は1,753.5ppmとかなり

低い値を示す。回帰式（式6-5）にもとづく推測では、交通量の増大によるトンネルの自然換気効果を考慮しないために約1,000ppmも高い値を示すものと考えられる。

炭化水素と同様に、天王山トンネル内で測定したCO濃度と交通量の回帰式（式6-7）から求めたトンネル内における自動車の平均汚染物量（CO）

μ_{CO} は

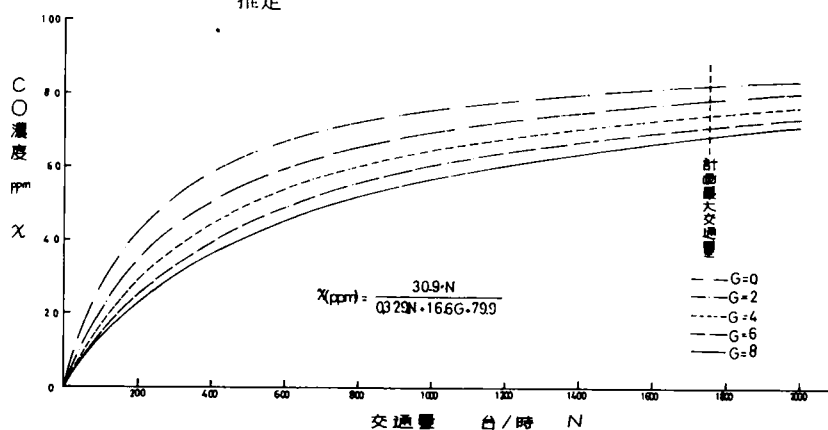
$$\mu_{CO} = 5.68 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{台}/\text{km} \quad \dots\dots (6-16)$$

となる。これを前記の式6-9に代入するとトンネル内のCO濃度、 X_{CO} ppm、交通量、 N 台/時、送風制御段階、 G 、との関係はつぎのように示される。

$$X_{CO} \text{ (ppm)} = \frac{30.9N}{0.329N + 16.6G + 79.9} \quad \dots\dots (6-17)$$

ここで、 G は0から8までの範囲で、 $G=0, 2, 4, 6, 8$ について、交通量とトンネル内のCO濃度の関係をプロットす

図 6-33 交通量および制御段階によるトンネル内のCO濃度の推定



ると図6-33のとおりである。前述の交通量とトンネル内のCO濃度の実測値にもとづく回帰式(式6-7)から推測した計画最大交通量時(1,750台/時)のCO濃度は約200ppmを示したが、上記の式6-9による推測では $G=0$ で82.5ppmと約 $\frac{2}{5}$ も低い値を示し、通過交通量の増大による自然換気量増加による濃度減少の効果が顕著にみられた。

3-5 総括

わが国の交通網整備の一環として、高速自動車道路の建設が推進されるにつれて、長大な自動車トンネルが数多く建設されている。それらのトンネル内外では交通量の激増から、排気による大気汚染が問題とされているが、これについての資料はきわめて少ない。このような問題についての基礎資料として、昭和39年1月20日から5月9日の間に名神高速道路天王山トンネル上り線(全長145m)、およびトンネル東口付近で、通過自動車の排気による大気汚染の実態を測定した。ただし、測定時にはトンネルの換気装置の運転は行っていない。その結果を要約するとつぎのとおりである。

1. トンネル内の気温は1月と2月には外気温よりも高く、5月では気温がやや高いが内外の差は小さい。1月と2月にはトンネル出口の近くで、地上30mの高さに弱い気温の逆転が発生する。

2. トンネルを通過する自動車の走行速度は約60~90km/hで、乗用車の速度が比較的大きく、上下線については、大差がない。測定時の交通量は240~450台/h(全平均30.9台/h)で、計画最大交通量(片側2000台/日)のほぼ $\frac{1}{4}$ 程度の交通状態とみられる。通過自動車の車種別構成は乗用車(貨客車を含む)がもっとも多くて全体の約70%を占め、トラック(約22%)がこれにつぐ。

3. トンネル内の空気から合計30種の炭化水素(約900~1,200ppm、平均1,058.9ppm)が検出され、交通量とともに増加を示す。炭化水素の構成はパラフィン約75%、オレフィン約23%、芳香族系約2%である。

トンネル出口では、植物に有害なethylene, propylene(100~170ppm)、acetylene(約90ppm)が高濃度を示す。また、i-butylene, benzene(約10ppm)も比較的大である。

4. トンネル出口から40m地点での炭化水素はトンネル内の約7%で、トンネル排気の影響がみとめられる。出口から100mおよび150m地点では、トンネル内の約0.6%、約0.3%で、トンネル排気の影響はきわめて小さい。中央分離帯上(出口から40m)、および路線(下り線)から約50mの換気塔付近では、トンネル内の約0.3%、約0.002%に減少する。トンネル排気は寒期では路線上に停滞し、暖期には出口から40m地点までに上方に拡散する割合が大きい。

5. トンネル内(上り線)のCO₂濃度は0.5~1.5%、CO濃度は80ppm以下で、いずれも交通量とともに増大し、その傾向は炭化水素と大差はない。

6. 強制換気のない場合の計画最大交通量時(1,750台/時)におけるトンネル内の濃度を本測定の交通量との関係から推測すると、炭化水素約2,700ppm、CO約200ppm、CO₂約2.5%となる。また、通過自動車による自然換気量と交通量との関係を考慮した場合のトンネル内の濃度は、1,750台/時の交通量で、強制換気のない場合に炭化水素約1,800ppm、CO約80ppmとなる。

以上は、名神高速道路天王山トンネル内と出口付近における汚染の実態の概略で、通過交通量が増大するにつれて、有害成分による障害の発生が軽視できないこと、および、自動車からの排出軽減を考慮する必要があることを認めた。しかし、各所で建設されている自動車トンネルの換気設計などの資料としては、窒素酸化物、鉛などの測定、長大な地下道などにおける実測がさらに必要である。

第4節 わが国の自動車排気による大気汚染の将来

は じ め に

産業間の流通機構の複雑化、人口や産業の都市集中化が近年とみに著しく、人員、物資の流動に自動車運輸が大きな割合を占めている。しかし、多年にわたる都市、道路計画の不備と非能率的行政のために、わが国の道路事情は巨大化する

都市構造のなかにきわめて貧弱なままで取り残されている。最近に至って、自動車道路網の建設、立体交差による円滑な交通流の確保などの実現に拍車がかけているが、激増する自動車交通を捌ききれず、連日各地で発生する交通麻痺、交通事故とともに、排気による大気の汚染は深刻化し、一連の都市公害として重要な社会問題となった。しかし、これらの問題については系統的な基礎的知見が乏しく、抜本的対策の実施にたいする行政的努力も不十分で、姑息な応急的処置が雑多な体制で採られているに過ぎず、わが国の都市像の将来に投じる陰は甚だ暗いとしても過言ではない。

4-1 自動車交通の現状と将来

昭和31年頃から急速な経済発展とともに、わが国のモーターリゼーションは小型トラックおよび乗用車を中心に大きく進展した。¹⁷⁰⁾ すなわち、わが国の自動車保有台数は表6-22に示すとおり、昭和41年8月には約876万台に達し、前年度にくらべて17.4%（乗用車29.0%）の増加率となる。また、乗用車の需要は表6-23のとおりで、昭和32年と昭和39年では大きく異なる。将来のモーターリゼーションの中心とみられる個人用の比重が大巾に増加し、ハイヤー、タクシー用の需要割合が大きく低下した。乗用車の気筒容積（排気量）においても、ハイヤー、タクシーの事業用中心の1,900～2,000ccクラスからオーナードライバー中心の1,300～1,500ccへと生涯の重点が移行している。また、わが国の自動車工業の障害であるモーターリゼーションの遅れ、自動車をめぐる環境（産業構造、法制、税制）の不備などによる後進性は次第に是正されつつあり、交通網の整備につれてモーターリゼーションは一層拡大されると予想さ

表6-22 車種別自動車保有台数 ¹⁷²⁾

車種	単位	40年8月	41年8月
トラック	普通車	自家用 (892) 264,347	(894) 301,639
	事業用	(959) 126,678	(1005) 151,622
	計	(1851) 401,025	(1899) 453,261
	小型車	自家用 (19) 18,335	(13) 22,730
	事業用	(113) 734,000	(29) 76,395
	計	(132) 1,906,928	(42) 234,947
	小型車	自家用 (123) 295,151	(135) 252,387
	事業用	(914) 352,680	(892) 294,440
	計	(1037) 330,519	(1127) 291,827
	計	9040	9998
バス	普通車	126,951	164,531
	事業用	27,441	31,923
	計	(3020) 429,148	(3108) 503,380
	計	190,342	110,724
乗用車	普通車	自家用 66,277	68,042
	事業用	3132	2409
	計	69,409	75,451
	小型車	自家用 (13) 142,069	(7) 189,043
二輪車	事業用	13,291	15,746
	計	(13) 156,430	(7) 204,218
	普通車	354,315	453,127
	計	198,254	256,576
特殊用途車		152,533	173,855
小型二輪車		45,619	52,128
二輪車		278,854	300,771
合計		924,473	852,899
計		745,705	875,705

() 内口ワトル引車 () 内は三輪車
バス普通車は乗車定員30人以上、小型車は7人以下

表6-23 乗用車需要内容の比較 (%) ¹⁷²⁾

年度	昭和32年	昭和39年
ハイヤー・タクシー用	52.1	19.0
事業用	42.2	57.4
個人用	3.4	20.4

れ、¹⁷¹⁾ 運輸省では昭和46年末の自動車保有台数は約1,690万台（内乗用車570万台）と、建設省は約1,500万台（内乗用車794万台）と推定した。このことは、人口1,000人あたりの自動車保有台数が現在の21台から74台と増加し、国民所得水準のほぼ等しいイタリーの現在の水準に達することになる。¹⁷⁰⁾ ¹⁷²⁾ また、大阪府および大阪市における自動車登録台数の増加傾向から昭和55年には昭和38年の2.1～5.5倍に達するとも予測されている。¹²⁴⁾

道路事情は表 6-

24 に示すとおり、

総延長では約 15

万 Km で、西ヨーロ

ッパ諸国に比べ

て遜色はないが、

道路の舗装率はわ

ずかに約 6 % で、

フランス、イタリ

ー、西ドイツの約

35 ~ 75 % にく

らべて格段に低い。道路 1 Km あたり、および単位面積あたりの自動車台数も地理的条件がよく似ているイギリスやイタリアと比較するとかなりの相違がみられる。このような差異は積年の道路政策の貧困に起因するもので、一朝に解決できないが、最近道路政策がわが国の重大政策の一つとされ、社会の関心もきわめて高い。¹⁷²⁾ すなわち、昭和 40 年には国民所得の約 3 % に達する道路投資がなされ、昭和 29 年からの道路整備計画では主要道路の舗装率を 20 % から昭和 43 年には 40 % にまで引き上げるべく努力されている。こうした一連の道路整備計画の目標は、1970 年における西欧の道路水準とされているが、わが国の現況ではこの目標に到達するために今後さらに 20 年の年月を要する。¹⁷²⁾ ともいわ

表 6-25

東京都内自動車燃料消費の経年変化 ¹⁷²⁾

燃料 \ 年	昭和 34 年	昭和 35 年	昭和 36 年	昭和 37 年
ガソリン	119 万 Kℓ	147	176	207
軽油	27 万 Kℓ	33	41	53

れ、都市域はもとより周辺部でも交通過密化は容易に緩和されそうにもない。さらに、自動車の保有台数とともに自動車燃料の消費量も激増しており、東京都での自動車用燃料消費の経年変化（昭和 34 年 ~ 37 年）は表 6-25 に示すとおり、昭和 34 年からの 4 年間にほぼ 2 倍近くに達している。近年、自動車用燃料として

利用度が増している LPG の消費量も昭和 41 年には約 66 万トン（約 90 万台）に達するとされ、燃料の不完全燃焼による大気汚染度は一層激化することは容易に推察される。¹⁷²⁾

自動車の燃料の種類で排気組成ならびに排出量が異なることは第三章で述べたとおりで、ガソリンエンジン（ガソリン）の場合には炭化水素、CO、鉛の排出が多く、ディーゼルエンジン（軽油）では窒素酸化物、アルデヒドが多い。¹⁷³⁾ わが国の都市区域内、とくに都心部での車種別構成はトラックにたいする通行制限が実施されているところが多く、乗用車の占める割合が大きい。乗用車の燃料はガソリンおよび LPG がほとんどで、ディーゼル車は主としてバスやトラックなどの大型車に多い。東京都の自動車登録総数 ¹²³⁾ とディーゼル車数の経年変化（昭和 31 ~ 39 年）は図 6-34 のとおりで、ガソリン車の増加傾向がディーゼル車のそれよりもかなり大である。わが国では、バン車（ライトバン）が法制上トラックに含まれ、年産量は軽自動車のバン車を含めて約 40 万台に達し、そのほとんどがガソリン（混合ガソリンを含む）車である。すなわち、わが国のトラック生産台数とエンジンによる構成比率 ¹⁷²⁾ は表 6-26 に示すように約 90 % がガソリン車で、このような傾向が将来大巾に変化することは容易でない。このようなことから、わが国の

図 6-34 自動車登録台数の経年変化（東京都）¹²³⁾

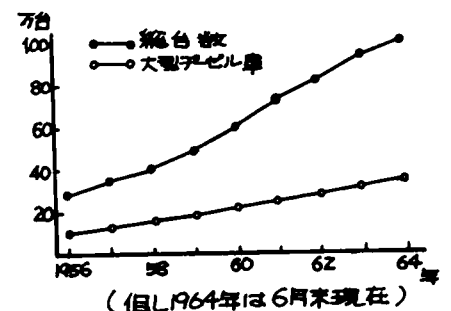


表 6-26 トラック生産台数¹⁷²⁾

分類	年	昭和39年	昭和40年
合 計		1,613,163	1,197,152
ガソリン車		88.8 %	89.6 %
ディーゼル車		11.2 %	10.4 %

都市域での自動車排気による大気汚染でガソリン車の占める割合が増大することはあっても、減少することは予想できない。

4-2 自動車排気による大気汚染の将来

都市における自動車の排気による大気汚染と、その障害の予測には都市計画、道路整備の進展、自動車交通量の伸び、都市内の自動車の走行パターンの変化、ならびに都市走行における汚染物の排出量、自動車の利用度などの詳細な資料が必要で、そのうえ、気象条件、都市構造などによる汚染物の希釈拡散、汚染成分の大気中の挙動などにたいする基礎的資料から将来の予測が対策上必須である。しかしながら、自動車排気の問題がクローズアップされてから日が浅く、わが国では現在のところこれらについての資料はきわめて不十分で、本研究を展開したゆえんもここにある。米国のカリフォルニアでは第五章で述べたように、地域内の全汚染源からの排出量を算定し³²⁾炭化水素は、自動車にもとづく排出量が740トン/日で、この地域における全排出量の63.8%を占め、このうちディーゼル車(約9,000台)の占める割合は0.3%である。窒素酸化物はガソリン車の排出量が345トン/日で、全排出量の91%を占める。このような算定と自動車の伸び率から1970年の汚染状態を推測して自動車の排出規制が実施されたことは第三章、第五章で述べた。McHugh⁷⁰⁾は、サンフランシスコの湾地域(Bay Area)では、1975年には自動車が270万台に達し、汚染物の排出量も有機物512トン/日、NO_x405トン/日、CO 3900トン/日、SO_x28トン/日、粒子54トン/日に達すると推測し、Maga⁷²⁾は、1965年におけるカリフォルニアでの大気汚染物の発生を表6-27のように地区別に示

表 6-27 1965年のカリフォルニアにおける汚染源の排出量⁷²⁾

地 区	CO トン/日			炭化水素 トン/日			窒素酸化物 トン/日		
	自動車	自動車以外	自動車による貢献度(%)	自動車	自動車以外	自動車による貢献度(%)	自動車	自動車以外	自動車による貢献度(%)
ロスアンゼルス	9950	326	97	2050	813	72	480	293	62
サンフランシスコ湾地区	5160	1490	78	1060	1000	51	250	190	57
サンジェゴ	1490	73	95	306	126	71	72	66	52
サクラメント	890	25	97	182	30	86	43	9	83

し、自動車の大気汚染に占める貢献度を、COは78～97%、炭化水素は51～86%、窒素酸化物は52～83%であると述べた。さらに、1980年までの自動車台数の伸び率と排気ガス規制の効果を推測した。

わが国においても、大阪市での推測がある。¹²⁴⁾それによると昭和38年で約39万台の自動車からの排出(CO 559トン/日、炭化水素66トン/日、窒素酸化物22トン/日)で、COの大気濃度が約20ppmで、ロスアンゼルス(地上120m)の30ppmより低い。さらに、交通量の伸び率から昭和41年にはこの水準をこえ、窒素酸化物は昭和44年にロスアンゼルス水準1.53mg/m³に、炭化水素は昭和44年はロスアンゼルス水準値5.48mg/m³に達すると述べられている。本研究の第五章でも、京都市における排出量の推測を走行パターンから行なったが、大抵の値に比べかなり低い。

現在のわが国の国民経済の動向から、国内の自動車保有数が増大するのは明白で、交通網、都市の整備の推進度合とはますますへだたと考えられ、自動車からの排出量が軽減されない限り、都市の大気汚染にたいして自動車排気の占める比重が増大しても減少することはない。このようなことから、排気ガス対策が実施され、COにたいする排出基準(3.0%)が定められた。¹⁷⁴⁾しかし、わが国の排気規制の背景は本章第1節で述べたように、大気汚染の防止を主目的として設定されたものとはみなし難く、この程度の排気規制による効果は根本的対策としてははなはだ心もとない。本研究で

取扱ったように都市における走行パターン、自動車密度、車種による排出量の差異、都市構造と気象要素などについての基礎的資料にもとづくもっとも有効な規制と軽減対策が必要である。さらに、今後各地に建設される自動車専用トンネルや地下道、地下駐車場の汚染と、その軽減対策についても充分検討される必要がある。

第5節 結 論

近年のわが国の交通密度は、排気による大気汚染が深刻な米国のそれをこえようとしている。このため、自動車排気は都市公害として社会問題となり、排気ガス規制、道路や都市の整備などにたいする関心が高まっている。自動車排気による汚染対策には、汚染の実態、汚染源の特性と汚染物の挙動、大気の拡散作用、都市構造など多くの問題についての基礎的資料にもとづく計画の推進が必要であるが、これらについてのわが国における調査、研究はきわめて乏しい。最近に至って東京、横浜、大阪などで自治体を中心とした実態調査も行なわれているが、大気汚染防止のための系統的な調査研究は少ない。また、測定成分がCO、鉛の場合が多く、光化学スモッグ、植物損傷、発癌性などに重要な炭化水素の資料は少ない。このようなことから、本章では、大阪市内と府下の大交通量交差点で炭化水素汚染の実態について検討した。さらに、今後各地で建設される自動車トンネルの汚染についての基礎資料とするために名神高速道路で測定を行なった。本章での概要はつぎのとおりである。

第1節では、これまでの米国、およびわが国の諸都市における実態調査のなかで、自動車排気による汚染度を検討したものについて概略を述べた。

第2節では、大阪市中心部にある曾根崎警察署前、および大阪府下の4地点（大阪府立成人病センター前、堺市役所前、守口市大日交差点前、阪奈道路大東ゲート）で排気炭化水素による汚染を測定した結果を述べた。曾根崎警察署前では約1.7～2.5 ppmの炭化水素が検出され、交通量と顕著な相関性を示す。炭化水素の構成はパラフィン約38%、オレフィン約54%、アセチレン約8%で、自動車排気とくらべてオレフィンの割合が大きい。大阪府立成人病センター前の炭化水素は約1.4～3.9 ppmで、交通量との相関性をみとめた。その構成はパラフィン約62%、オレフィン約26%、アセチレン約12%を示す。堺市役所前の炭化水素は約1.0～1.6 ppmで、その構成はパラフィン約67%、オレフィン約24%、アセチレン約9%を示した。守口市大日交差点での炭化水素は地上で約1.4 ppm、高架橋上（地上約7m）で約1.4とほとんど同じで、自動車による気流の攪乱効果のために、地上から約7mの高さの範囲ではほぼ同程度の状態となる。炭化水素の構成はパラフィン約58%、オレフィン約32%、アセチレン約10%である。堺市役所前と大日交差点での炭化水素濃度は交通量との相関性が顕著でなく、測定当時の地上風速が大きく影響した。阪奈道路大東ゲートでの炭化水素は約2.0 ppmで、その構成はパラフィン約66%、オレフィン約23%、アセチレン約11%を示す。この地点は交通量が600～1,000台/時と少ないが、料金収納所のきわめて近くを自動車が通過するためにCO濃度も高く、作業員にたいする配慮策が必要である。成人病センター、堺市役所前、大日交差点、および阪奈道路での炭化水素の構成比は曾根崎警察署前とは異なり、オレフィンの割合がかなり低く、自動車排気に近い。炭化水素は交通量の増大につれて濃度が高くなるが、その上昇勾配は地表での平均風速に逆比例し、交差点付近の炭化水素濃度は地上風に大きく影響される。

第3節では、長大な自動車トンネルの内外で、自動車排気による障害が訴えられているが、これについての資料がきわめて乏しい。そこで、名神高速道路天王山トンネル東口（上り線出口）付近で、実態の測定を行なった。トンネル内外の温湿度は寒期と暖期（5月）でかなり異なり、寒期には、トンネルの出口付近の地上約30mの高さにきわめて弱い気温の逆転が発生する。調査時の交通量は平均309台/時で、計画最大量（20,000台/時、片側）のほぼ $\frac{1}{4}$ 程度である。トンネル内の炭化水素濃度は約1,060 ppm（平均）で交通量の変化にほぼ比例し、その構成はパラフィン約75%、オレフィン約23%、芳香族約2%を示し、自動車排気と大差がない。出口から40m地点は約76 ppm（平均）でトンネル内の約 $\frac{1}{4}$ に、100m地点は約 $\frac{1}{370}$ に減少する。150m地点の濃度は100m地点と大差はなく、下り線から50m離れた地点では、トンネル内の約0.002%に低下する。寒期には、トンネル排気が路面上に停滞し、出口から約100mまで影響を及ぼす。暖期には出口から約40m地点までに上方に拡散される割合が大きく、100m地点での影響はきわめて小さい。

トンネル内の CO_2 は0.5～1.5%、 CO は80ppmで、炭化水素と同様に交通量の増減に比例する傾向を示す。交通量との関係から計画最大交通量時の濃度を推測すると炭化水素2,700ppm、 CO 200ppm（1,750台/時）となり、交通流によるトンネル内の自然換気量の変化を考慮すると炭化水素1,800ppm、 CO 80ppmとなる。

第4節では、わが国の自動車の生産、保有台数の伸び率、ならびに自動車工業の特色、さらには乗用車の需要傾向の変化などについて考察し、さらに、道路事情の諸外国との比較から、わが国の都市の大気汚染に自動車排気が占める貢献度が今後ますます増大することを強調した。

参 考 文 献

- 1) Haagen-Smit, A.J. ; Chemistry and Physiology of Los Angeles Smog, Ind. Eng. Chem., 44(6), 1342-1347, 1952
- 2) Littman, F. E., Ford, H. W., Endow, N.; Formation of Ozone in the Los Angeles Atmosphere, Ind. Eng. Chem., 48(9), 1492-1508, 1956
- 3) Jenkins, V.; The Petroleum Industry Sponsors Air Pollution Research, Air Repair, 3(3), 144-149, 1954
- 4) Griswold, S. S.; Control of Stationary Sources, Technical Progress Report, vol. 1, P179, Air Pollution Control District, County of Los Angeles, 1960
- 5) Dickinson, J. E.; Air Quality of Los Angeles County, Technical Progress Report, Vol. II, P290, Air Pollution Control District, County of Los Angeles, 1961
- 6) Wayne, L. G.; The Chemistry of Urban Atmospheres, Technical Progress Report, Vol.III, P208, Air Pollution Control District, County of Los Angeles, 1962
- 7) Faith, W. L., Goodwin, J. T., Morriss, F. V., Bolze, C.; Automobile Exhaust and Smog Formation, J. Air Poll. Cont. Assoc., 7(1), 9-12, 1957
- 8) Maga, J. A., Chass, G. C.; The Development of Motor Exhaust Emission, Standards in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(5), 393-396, 1960
- 9) Goldsmith, J. R.; Some Implications of Ambient Air Quality Standards, Arch, Environ. Health, 4, 151-167, 1962
- 10) Department of Public Health; Standards for Ambient Air Quality and Motor Vehicle Exhaust, P11, California State Board of Public Health, Friday, December, 4, 1959
- 11) Jensen, D. A.; Crankcase Emission Control Devices for Typical Gasoline Engines, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(4), 173-174, 1963
- 12) Stern, A. C.; Results of Three Years of Operation of the National Air Sampling Network, J. Air Poll. Cont. Assoc., 7(4), 284-288, 1958
- 13) Department of Health, Education, and Welfare; Federal Register, Vol.31, No.61, Part II, 5170-5178, Washington, D. C., March, 30, 1966
- 14) Perry, W. H., Tabor, E. C.; National Air Sampling Network Measurement of SO₂ and NO₂, Arch. Environ. Health, 4, 254-264, 1960
- 15) 橋本道夫;自動車排気ガスによる大気汚染問題, 内燃機関, 6 (64), 17-25, 1967
- 16) 八巻直臣;自動車排気ガスによる大気汚染の防止に関する諸問題, 石油学会誌, 8 (9), 688-696, 1965
- 17) 通商産業企業局立地政策課, 厚生省環境衛生局環境衛生課;大気汚染便覧, P 359, 日本公衆衛生協会, 東京, 1963
- 18) 浅川照彦;大気汚染の実態と公害対策, P 350, 昭晃堂, 東京, 1967
- 19) 児玉泰, 国武栄三郎, 石西伸;自動車排気ガスによる大気汚染, 関門国道トンネルの汚染度調査, 日本衛生学雑誌, 22 (5), 563-570, 1967

- 20) Grunder, L. J.; Highway Traffic Contributions to Air Pollution, Air Repair, 2(3), 109-111, 1953
- 21) Cann, G. R., Noble, W. M., Larson, G. P.; Detection of Smog Forming Hydrocarbons in Automobile Exhaust Gases Using Plants as Indications, Air Repair, 4(2), 82-85, 1954
- 22) Quiran, E. R., Metro, S. J., Lewis, J. B.; Determination of Hydrocarbon Gases as Air Contaminants, Anal. Chem., 26(2), 352-354, 1954
- 23) Haagen-Smit; Photochemical Ozone Formation with Hydrocarbons and Automobile Exhaust, Air Repair, 4(3), 105-108, 1954
- 24) Haagen-Smit, A. J.; Photochemistry and Smog, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(9), 444-446, 1963
- 25) Larson, G.P., Chipman, J.C., Kauper, E.K.; Study of the Distribution and Effects of Auto Exhaust Gases, J. Air Poll. Cont. Assoc., 5(2), 84-90, 1955
- 26) Faith, W. L; The Role of Motor Vehicle Exhaust in Smog Formation, J. Air Poll. Cont. Assoc., 7(3), 219-221, 1957
- 27) Eggertson, F. T., Nelsen, F. M.; Gas Chromatographic Analysis of Engine Exhaust and Atmosphere, Determination of C₂ to C₈ Hydrocarbons, Anal. Chem., 30(6), 1040-1043, 1958
- 28) Rogers, L. L.; Nitric Oxide and Nitrogen Dioxide in the Los Angeles Atmosphere, J. Air Poll. Cont. Assoc., 8(2), 124-128, 1958
- 29) Stephens, E. R., Harst, P. L., Doerr, R. C., Scott, W. E.; Auto Exhaust, Composition and Photolysis Products, J. Air Poll. Cont. Assoc., 8(4), 333-335, 1959
- 30) Renzetti, W. A., Doyle, G. J.; Photochemical Aerosol Formation in Sulfur Dioxide-Hydrocarbon Systems, Int. J. Air Wat. Poll., 2, 327-345, 1960
- 31) Hamming, W. J., MacPhee, R. D., Taylor, J. R.; Contaminant Concentrations in the Atmosphere of Los Angeles County, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(1), 7-16, 1960
- 32) Chass, R. L., Tow, P. S., Lunche, R. G., Shaffer, N. R.; Total Air Pollution Emissions in Los Angeles County, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(5), 351-366, 1960
- 33) Brief, R. S., Jones, A. R., Yoder, J. D.; Lead, Carbon Monoxide and Traffic, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(5), 384-388, 1960
- 34) Middleton, J. T., Haagen-Smit, A. J.; The Occurence, Distribution, and Significance of Photochemical Air Pollution in the United State, Canada, and Mexico, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(3), 129-134, 1961
- 35) Cholak, J., Schafer, L. J., Sterling, T. D.; The Lead Content of the Atmosphere, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(6), 281-288, 1961
- 36) Neligan, R. F.; Hydrocarbons in Los Angeles Atmosphere, Arch. Environ. Health, 5, 581-591, 1962

- 37) Beller, T., Sigsby, J. E., Clemons, C. A., Altshuller, A. P.; Direct Application of Gas Chromatography to Atmospheric Pollution, Anal. Chem., 34(7), 763-765, 1962
- 38) Altshuller, A. P., Clemons, C. A.; Gas Chromatographic Analysis of Aromatic Hydrocarbons at Atmospheric Concentrations Using Flame Ionization Detection, Anal. Chem., 34(4), 466-472, 1962
- 39) Murphy, S. D., Leag, J. K., Ulrich, C. E., Davis, H. V.; Effects on Animals of Exposure to Auto Exhaust, Arch. Environ. Health, 7, 60-70, 1963
- 40) Darley, E. F., Dugger, W. M., Mudd, J. B., Ordan, L., Taylor, O. C., Stephens, D. R.; Plants Damage by Pollution Derived from Automobiles, Arch. Environ. Health, 6, 761-770, 1963
- 41) Larsen, P. I.; Motor Vehicle Emission and Their Effects, Public Health Rept., 77(11), 963-969, 1962
- 42) Prindle, R. A., Yaffe, C. D.; Motor Vehicles, Air Pollution and Public Health, Public Health Rept., 77(11), 955-961, 1962
- 43) Kopczynski, S. L., Altshuller, A. P.; Photochemical Reactions of Hydrocarbons with Sulfur Dioxide, Int. J. Air Wat. Poll., 6, 133-135, 1962
- 44) Altshuller, A. P., Beller, T. A.; Gas Chromatographic Analysis of Hydrocarbons in the Los Angeles Atmosphere, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(2), 81-87, 1963
- 45) Altshuller, A. P., McPherson, S. P.; Spectrophotometric Analysis of Aldehydes in the Los Angeles Atmosphere, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(3), 109-111, 1963
- 46) Niemeyer, L. E.; Summer Sun, Cincinnati Smog, A Recent Incident, J. Air Poll. Cont. Assoc., 13(8), 381-383, 1963
- 47) Kopczynski, S. L.; Photo-oxidation of Alkylbenzene-Nitrogen Dioxide Mixtures in Air, Int. J. Air Wat. Poll., 8, 107-120, 1964
- 48) Altshuller, A. P., Leach, P. W.; Reactivity of Aromatic Hydrocarbons in Irradiated Automobile Exhaust, Int. J. Air Wat. Poll., 8, 37-42, 1963
- 49) Altshuller, A. P., Cohen, I.; The Gas Phase Reactions of Nitrogen Oxides with Olefins, Int. J. Air Wat. Poll., 4, 55-69, 1961
- 50) Altshuller, A. P., Beller, T. A., Clemons, C. A., Vander-Zanden, E.; Methane Composition of Urban Atmosphere, Int. J. Air Wat. Poll., 8, 29-35, 1964
- 51) Dubois, L., Reynolds, R. G., Teichman, T., Mockman, J. L.; The Hydrocarbon Content of Urban Air, A Six Month Survey, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(8), 295-297, 1964
- 52) Murphy, S. D.; A Review of Effects on Animals of Exposure to Auto Exhaust and Some of Its Components, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(8), 303-308, 1964

- 53) Stephens, E. R.; Temperature Inversions and the Trapping of Air Pollutants, *Weatherwise*, 18(4), 172-174, 1965
- 54) Battigelli, M. C.; Effects of Diesel Exhaust, *Arch. Environ. Health*, 10, 165-167, 1965
- 55) Reed, L. E., Barrett, C. F.; Air Pollution from Road Traffic-Measurements in Archway Road, London, *Int. J. Air Wat. Poll.*, 9, 357-365, 1965
- 56) Colucci, J. M., Begeman, C. R.; The Automotive Contribution to Air-Borne Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in Detroit, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 15(3), 113-122, 1965
- 57) Kauper, E. K., Hopper, C. J.; The Utilization of Optimum Meteorological Conditions for the Reduction of Los Angeles Automotive Pollution, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 15(5), 210-213, 1965
- 58) Stephens, E. R.; The Role of Oxygen Atoms in the Atmospheric Reaction of Olefins with Nitric Oxide, *Int. J. Air Wat. Poll.*, 10, 793-803, 1966
- 59) Ramsey, J. M.; Concentrations of Carbon Monoxide at Traffic Intersections in Dayton, Ohio, *Arch. Environ. Health*, 13, 44-46, 1966
- 60) Schuk, E. A., Pitts, J. N., Wang, J. K. S.; Relationships between Certain Meteorological Factors and Photochemical Smog, *Int. J. Air Wat. Poll.*, 10, 689-711, 1966
- 61) Dellaio, L., Corn, M.; Polynuclear Aromatic Hydrocarbons Associated with Particulates in Pittsburgh Air, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 16(2), 67-71, 1966
- 62) Schusky, J.; Public Awareness and Concern with Air Pollution in the St. Louis Metropolitan Area, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 16(2), 72-76, 1966
- 63) Altshuler, A. P., Ortman, G. C., Saltzman, B. E., Heligan, R. E.; Continuous Monitoring of Methane and Other Hydrocarbons in Urban Atmospheres, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 16(2), 87-91, 1966
- 64) Lynn, D. A., McMullen, T. B.; Air Pollution in Six Major U.S. Cities as Measured by the Continuous Air Monitoring Program, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 16(4), 186-190, 1966
- 65) Cleaves, G. A., Lemons, T. J., Clemons, C. A.; A Low-Level Air Sampling and Meteorological Sounding System, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 16(4), 207-211, 1966
- 66) Clarke, J. F., Faoro, R. B.; An Evaluation of CO₂ Measurements as an Indicator of Air Pollution, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 16(4) 212-218, 1966
- 67) Moore, G. E., Katz, H., Drewley, W. B.; Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in Urban Atmosphere in Ontario, *J. Air Poll. Cont. Assoc.*, 16(9), 492-497, 1966

- 68) Brice, R. M., Roesler, J. F.; The Exposure to Carbon Monoxide of Occupants of Vehicles Moving in Heavy Traffic, J. Air Poll. Cont. Assoc., 16(11), 597-600, 1966
- 69) Stephens, E. R., Burleson, F. R.; Analysis of the Atmosphere for Light Hydrocarbons, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(3), 147-153, 1967
- 70) McHugh, E. W.; The Effect of Rapid Transit on San Francisco Bay Air Quality, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(5), 277-279, 1967
- 71) Uphan, J. B.; Atmospheric Corrosion Studies in Two Metropolitan Area, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(6), 398-402, 1967
- 72) Maga, J. A., Wong-Woo, H., Nason, M. G.; Motor Vehicle Pollution in California, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(7), 435-438, 1967
- 73) Romanousky, J. C., Ingels, R. M., Gordon, R. J.; Estimation of Smog Effects in the Hydrocarbon-Nitric Oxide System, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(7), 454-459, 1967
- 74) Ehhalt, D. H.; Methane in the Atmosphere, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(8), 518-519, 1967
- 75) Thomas, F. W.; TVA Air Pollution Studies Program, Air Repair, 4(2), 7-12, 1954
- 76) Record, F. A., Cramer, H. E.; Preliminary Analysis of Project Prairie Grass Diffusion Measurements, J. Air Poll. Cont. Assoc., 8(3), 240-248, 1958
- 77) Turner, D. B.; Relationships between 24 Hour Mean Air Quality Measurements and Meteorological Factors in Nashville, Tennessee, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(10), 483-488, 1961
- 78) Strom, G. H., Hackman, M., Kaplin, E. J.; Atmospheric Dispersal of Industrial Stack Gases Determined by Concentration Measurements in Scale Model Wind Tunnel Experiments, J. Air Poll. Cont. Assoc., 7(3), 198-204, 1957
- 79) Strom, G. H.; Important Considerations in the Use of The Wind Tunnel for Pollution Studies of Power Plants, Air Repair, 4(2), 24-30, 1954
- 80) Bodurtha, F. T.; The Behavior of Dense Stack Gases, J. Air Pollution Problems, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(8), 364-368, 1963
- 81) Wilkins, E. M.; Effects of Topography on Winds and Diffusion Conditions at the National Reactor Testing Station, J. Air Poll. Cont. Assoc., 6(1), 14-16, 1956
- 82) Jenne, D. E.; Vertical Temperature Profiles in Relation to Other Meteorological Elements and to Air Pollution, J. Air Poll. Cont. Assoc., 7(1), 31-35, 1957
- 83) Smith, M. E., Singer, I. A., Bartlett, F. E., Marcus, L.; The Variation of Effluent Concentrations During Temperature Inversions, J. Air Poll. Cont. Assoc., 7(3), 194-197, 1957

- 84) Davidson, B., Halitsky, J.; A Method of Estimating the Field of Instantaneous Ground Concentration From Tower Bivane Data, J. Air Poll. Cont. Assoc., 7(4), 316-319, 1957
- 85) Leavitt, J. M.; Meteorological Consideration in Air Quality Planning, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(3), 246-250, 1960
- 86) Gartrell, F. E., Thomas, F. W., Carpenter, S. B.; An Interim Report on Full-Scale Study of Dispersion of Stack Gases, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(2), 60-65, 1961
- 87) Davidson, B.; Valley Wind Phenomena and Air Pollution Problems, J. Air Poll. Cont. Assoc., 11(8), 364-368, 1961
- 88) Baulch, D. M.; Relation of Gustiness to Sulfur Dioxide Concentration, 12(11), 539-542, 1962
- 89) Machta, L.; Meteorological Aspects of Large Scale Air Pollution, Public Health Rept., 75(4), 307-312, 1960
- 90) Greenburg, L., Field, F.; Area Meteorology, Arch. Environ. Health., 4, 477-486, 1962
- 91) Newall, H. E., Eaves, A.; The Effect of Wind Speed and Rain fall on the Concentration of Sulphur Dioxide in the Atmosphere, Int. J. Air Wat. Poll. 6, 173-177, 1962
- 92) Crow, L. W.; Airflow Related to Denver Air Pollution, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(2), 56-59, 1964
- 93) Deland, R. J., Binkowski, F. S.; Comparison of Wind at 500 Feet Over Minneapolis and Louisville with Geostrophic Wind, J. Air Poll. Cont. Assoc., 16(8), 407-411, 1966
- 94) Singer, I. A., Frizzola, J. A., Smith, M. E.; A Simplified Method of Estimating Atmospheric Diffusion Parameter, J. Air Poll. Cont. Assoc., 16(11), 594-596, 1966
- 95) Munn, R. E., Stewart, I. M.; The Use of Meteorological Towers in Urban Air Pollution Programs, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(2), 98-101, 1967
- 96) Hewson, E. W., Olsson, L. E.; Lake Effects on Air Pollution Dispersion, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(11), 757-760, 1967
- 97) Kleinsasser, T. W., Wanta, R. C.; The Development of a Forecasting Service for Use in Air Pollution Control, J. Air Poll. Cont. Assoc., 6(4), 228-232, 1957
- 98) Halitsky, J.; Diffusion of Vented Gas Around Buildings, J. Air Poll. Cont. Assoc., 12(2), 74-80, 1962
- 99) Clarke, J. F.; A Simple Diffusion Model for Calculating Point Concentrations from Multiple Sources, J. Air Poll. Cont. Assoc., 14(9), 347-352, 1964
- 100) Briggs, G. A.; A Plume Rise Model Compared with Observations, J. Air Poll. Cont. Assoc., 15(9), 433-438, 1965

- 101) Miller, M. E., Holzworth, G. C.; An Atmospheric Diffusion Model for Metropolitan Areas, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(1), 46-50, 1967
- 102) Kooger, J. B., Sholters, R. S., Davis, A. L., Harding, C. I.; A Multivariable Model for Atmospheric Dispersion Predictions, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(4), 211-214, 1967
- 103) Montgomery, T. L., Corn, M.; Adherence of Sulfur Dioxide Concentrations in the Vicinity of a Steam Plant to Plume Dispersion Models, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17(8), 512-517, 1967
- 104) Public Health Service, Reber A. Taft Sanitary Engineering Center.; Symposium Air Over Cities, P29., Technical Report A62-5 U.S. Dept. Health Education and Welfare, 1961
- 105) 伊藤昭白; 公害対策面から捉えた気象学的諸考察, 公害と対策, 1(2), 4-9, 1965
- 106) 小林義隆・阿部竜之・竹野博・菅野三郎・福井昭三・内藤昭治; 横浜市内の大交通量地点街路上における自動車排気ガスよりの大気汚染物質, 分析化学, 12(11), 1057-1062, 1963
- 107) 大和田国夫・藤井徹・国東幸男・菰池義彦・品川興造・伊藤昭・打田喜彦; 自動車排気による市街地の大気汚染について, 日本公衆衛生雑誌, 11(6), 515-519, 1964
- 108) 穴戸昌夫・杉田暉道・津田忠美・榊原高尋・前田幸二・高橋友夫・嵯川栄蔵・佐藤信行・助川信彦・猿田勝美; 市街地における自動車の排気ガスに関する研究, 日本公衆衛生学雑誌, 12(1), 21-28, 1965
- 109) 庄司光・山本剛夫・西田耕之助・伊藤辰夫; 自動車排気ガスによる大気汚染の研究, ガスクロマトグラフィーによる各種炭化水素の定量, 日本衛生学雑誌, 16(1), 39, 1961
- 110) 庄司光・山本剛夫・西田耕之助・中村隆一; ガスクロマトグラフによる大気汚染の研究, 昭和36年度土木学会関西支部, 年度学術講演会, 講演要旨, 88-89, 1961
- 111) 久津摩淳二・本田始子; 都市空気中のエンジン排ガスの測定結果, 第4回大気汚染研究全国協議会, 総会抄録集, 6, 1963
- 112) 加藤竜夫・久津摩淳二; ガスクロマトグラフ法による都市空気中の炭化水素類の分析, 第5回大気汚染研究全国協議会, 総会抄録集, 58-59, 1964
- 113) 西川鎮八・牧宏鴨・小野塚清一・鍋島陽治; 自動車事故に及ぼすスモッグの影響, 日本衛生学雑誌, 19(2), 88, 1964
- 114) 庄司光・山本剛夫・西田耕之助・八木康雄; 高速道路トンネルおよびその付近の大気汚染について, 日本衛生学雑誌, 20(3), 91, 1965
- 115) 倉恒匡徳; 大気中発ガン物質に関する諸問題, 第6回大気汚染全国協議会総会特別講演集, 9-35, 1965
- 116) 倉恒匡徳; ガンと排気ガス, 化学と薬学の教室, 10, 11-15, 1966
- 117) 公害と防災編集委員会; 大気汚染, I, P 378, 白亜書房, 東京, 1966
- 118) 加藤竜夫; 活性炭吸着濃縮による都市空気中自動車排気ガス測定法, 分析化学, 15(6), 14-19, 1966
- 119) 平野英男・井上雄之・田波一郎; 自動車排気ガス被曝濃度とCO-Hbの関連性に関する研究, 日本衛生学雑誌, 21(3), 111, 1966
- 120) 六鹿鶴雄・青山光子・中尾洋子; 自動車排気ガスの生体に及ぼす影響, 日本衛生学雑誌, 21(3), 111-112, 1966
- 121) 白石陽治・小野塚清一・榊原淳・武政治隆・趙大詰; 自動車事故と煙霧との関連性, 日本衛生学雑誌, 21(4), 313-321, 1966

- 122) 公害と防災編集委員会；大気汚染・Ⅱ，P 288，白亜書房，東京，1967
- 123) 大平俊男；環境汚染からみた大都市における自動車排気ガスについて，公害と対策，2(2)，109-117，1966
- 124) 大阪市総合計画局公害対策部；環境汚染からみた大都市における自動車排気ガスについて，公害と対策，2(2)，119-127，1966
- 125) 西井俊治；自動車排気ガスによる汚染空気の人体に及ぼす影響について，公害と対策，2(2)，93-99，1966
- 126) 杉山太幹；人体への影響から捉えた自動車排気ガスについて，公害と対策，2(5)，313-319，1966
- 127) 北川徹三；自動車排気ガスによる大気汚染の防止対策，公害と対策，2(11)，741-749，1966
- 128) 多田治，中田賢二；自動車排気の人体に及ぼす影響について，日本衛生学雑誌，22(1)，145-146，1967
- 129) 藤井徹；自動車の排気による都市公害，内燃機関，6(57)，57-61，1967
- 130) 加藤竜夫，大平俊男；都市空气中自動車排気汚染型式の最近の変化，第7回大気汚染研究全国協議会，抄録集，91，1966
- 131) 大寺多敏一；大気汚染，P 220，総合図書，東京，1966
- 132) 三浦豊彦；大気汚染による物的，経済的損害，労働科学，19(12)，4-6，1964
- 133) 庄司光，山本剛夫，西田耕之助，中村隆一；自動車排気ガスによる都市大気汚染に関する研究，水素焰イオン化検出器による都市空気ならびに自動車排気ガスの分析，第3回，大気汚染研究全国協議会，総会抄録集，20，1962
- 134) 庄司光，山本剛夫，西田耕之助，中村隆一；自動車排気ガスによる大気汚染の研究，水素焰イオン化検出器による自動車排気ならびに都市空気の分析，日本衛生学雑誌，18(1)，198，1963
- 135) 庄司光，山本剛夫，西田耕之助，西森元亮；自動車排気ガスによる大気汚染の研究，第18回土木学会年次学術講演会，概要集，205-206，1964
- 136) 庄司光，山本剛夫，西田耕之助；ガスクロマトグラフによる大気汚染物測定に関する研究，土木学会論文集，91，25-33，1963
- 137) Fredericks, E. H., Brocks, F. R.; Analysis of Gaseous Hydrocarbons by Gas Liquid Partition Chromatography, Anal. Chem., 28(3), 297-303, 1956
- 138) Hurn, R. W., Hughes, K. J., Chase, J. D.; Application of Gas Chromatography to Analysis of Exhaust Gas, 11C, P32, SAE, Annual Meeting, Detroit, Michigan, Jan. 1958
- 139) Keulemans, A.I.M.; Gas Chromatography, P234, Reinhold Publishing Co., New York, 1959
- 140) Feinland, R., Andreatch, A. J., Cotroupe, D. P.; Automotive Exhaust Gas Analysis by Gas-Liquid Chromatography, Using by Flame Ionization Detector, Anal. Chem., 33(8), 991-994, 1961
- 141) Altshuller, A. P., Bollen, T. A., Sigaby, J. E., Clemons, C.A.; Direct Application of Gas Chromatography to Atmospheric Pollutants, Anal. Chem., 34(7), 763-765, 1962
- 142) Goldsmith, J. R., Rogers, L. H.; Health Hazard of Automobile Exhaust, Public Health Rept., 74(6), 551-558, 1959
- 143) 労働科学研究所；労働衛生ハンドブック，P 1399，労働科学研究所，東京，1966

- 144) 多田治・中明賢二；有料道路ゲートブース内外の空気汚染について，大気汚染研究，2（1），103-104，1967
- 145) 村山朔郎；トンネル内における機関車煙の衛生学的考察，土木学会論文集，16，44-51，1953
- 146) 伊吹山四郎；道路トンネルの換気，P140，理工図書，東京，1962
- 147) 福地合一；鉄道トンネルの列車風による換気，労働衛生工学，4，58-67，1965
- 148) Larsen, R. I., Konopinski, V. J.; Summer Tunnel Air Quality, Arch. Environ. Health, 5, 597-608, 1962
- 149) 早川友邦・森下有輝・広岡邦昌・加藤邦夫・井上裕正・鶴飼春夫；隧道内の自動車排気ガスによる汚染分布状況について，大気汚染研究，2（1），104，1967
- 150) Middleton, J. T., Darley, L. F., Brewer, R. F.; Damage to Vegetation from Polluted Atmospheres, J. Air Poll. Cont. Assoc., 8(1), 9-15, 1958
- 151) Treshow, H.; Evaluation of Vegetation Injury as an Air Pollution Criterion, J. Air Poll. Cont. Assoc., 15(6), 266-269, 1965
- 152) Gerarde, H. W.; Toxicological Studies on Hydrocarbons, Arch. Environ. Health, 6, 329-341, 1963
- 153) 庄司光・山本剛夫・西田耕之助・八木康雄；トンネル排気の拡散へのSutton式の適用について，日本衛生学雑誌，20（3），116，1965
- 154) 庄司光・山本剛夫・西田耕之助；自動車排気ガスによる大気汚染の研究，土木学会論文集，132，34-41，1966
- 155) 庄司光・山本剛夫・西田耕之助・中村隆一・出井幸子・八木康雄・石川義紀・荒木みほし；高速自動車トンネル排気ガスの毒性及び拡散に関する調査研究，P79，京都大学工学部衛生工学教室，第三講座，昭和40年3月
- 156) 中野文基；トンネル換気の調整試験，土木学会誌，49，50-55，1964
- 157) 大気汚染研究全国協議会；大気汚染の測定，P360，コロナ社，東京，1962
- 158) Desty, D. H.; Vapour Phase Chromatography, P436, Butterworths Scientific Pub., London, 1957
- 159) 日暮竜夫；内燃機関排気ガス触媒浄化装置・内燃機関，2（1），39-45，1963
- 160) 山岸正謙；自動車排気ガスと大気汚染，機械の研究，15，（1），40-46，1963
- 161) Stern, A. C.; Air Pollution, I. P656, Academic Press, New York, 1962
- 162) 伊藤彌自；大気汚染と制御，P258，地人書館，東京，1961
- 163) Richards, L. M.; The Formation of Ozone in Polluted Atmospheres, J. Air Poll. Cont. Assoc., 5(4), 216-218, 1956
- 164) Thomas, M. D.; The Invisible Injury Theory of Plants Damage, J. Air Poll. Cont. Assoc., 5(4), 205-208, 1956
- 165) Prindle, R. A.; Air Pollution as a Public Health Hazard, Arch. Environ. Health, 4, 401-407, 1962
- 166) Linnell, R. H., Scott, W. F.; Diesel Exhaust Analysis, Arch. Environ. Health, 5, 616-625, 1962
- 167) Korth, M. W.; Dynamic Irradiation Chamber Tests of Automotive Exhaust, P53, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, 1963

- 168) Johnstone, H. F., Moll, A. J.; Formation of Sulfuric Acid in Fogs, Ind. Engi. Chem., 52(10), 861-863, 1960
- 169) Leighton, P. A.; Photochemistry of Air Pollution, P300, Academic Press, New York, 1961
- 170) 寺部本次; 空気汚染の化学, P 390, 技報堂, 東京, 1966
- 171) 伊吹山四郎, 今田徹; トンネルの換気量について, 土木技術資料, 3(8), 387-391, 1963
- 172) 通商産業研究社編; 日本の自動車工業(1966-67年), P 861, 通商産業研究社, 東京, 1967
- 173) 山本峰雄, 近藤政市, 平尾収, 宜理厚; 自動車ハンドブック, P 873, 朝倉, 東京, 1966
- 174) 自動車技術会; 自動車工学ハンドブック, P 926, 自動車技術会, 東京, 1965
- 175) Linville, W. H., Holmes, R. G., Kanter, C. V.; Evaluation of Method for Controlling Vehicular Exhaust, J. Air Poll. Cont. Assoc., 10(1), 21-28, 1960

第七章 結 論

近年、わが国の都市交通は激化の一途をたどり、交通麻痺、交通事故などとともに、自動車排気による大気汚染は一連の都市公害として社会問題化している。しかし、自動車の運転条件、車種、道路事情などによる排気ガスの組成と排出量の変化、さらには排気成分の大気中における挙動などについての資料がきわめて少ない。また、わが国の自動車排気にたいする排出規制（昭和42年、CO 3%）は大気汚染の防止よりも、すでに排出規制が強力に実行されている米国への自動車輸出に重点をおいて推進された感が強く、自動車交通と大気汚染の実状にもとづく有効、かつ適切な排出規制の設定、ならびに汚染防止対策の確立がのぞまれ、これに関する基礎研究の推進が叫ばれている。

本研究では、わが国における自動車排気による大気汚染の実状把握と、汚染の軽減防止にたいする基礎資料を得るために、排気中の有害成分（炭化水素、一酸化炭素）に着目した衛生工学的見地から一連の調査ならびに研究を行なった。本論文における主要な成果ならびに今後の問題点を以下に述べる。

第一章； わが国および諸外国における大気汚染の歴史的経過と汚染の現状を簡単に述べ、大気汚染形態の変遷と自動車排気が大気汚染に占める役割がしだいに増大していることを示した。さらに、大気汚染の人体、植物、財物などにたいする影響について略述し、おわりに、本論文の各章においてとりあげた問題と研究の意図を示した。

第二章； 第1節では、大気汚染物の機器分析におけるガスクロマトグラフィーの役割について述べた。

第2節では、従来からのガスクロマトグラフィーの理論的取扱について概説した。ガスクロマトグラフィーは多種の有機系成分を含む試料の分析に有利で、精度も高く、多方面で近年さかんに利用されるに至った。しかし、自動車の排気成分のような有機成分は都市大気中に低濃度で、しかも同族成分が多種共存し、実際の測定においては、さまざまな障害を呈する。このため、ガスクロマトグラフィーによっても分離カラムの性能や検出感度の点から大気成分の完全分析は容易でない。そのうえ、大気汚染物の測定にたいする分離カラムの選定法、至適操作条件、試料調整法なども確立されるには至っていない。

第3節では、低濃度の炭化水素成分にたいする従来からの捕集法について述べた。本研究で着目した自動車の排気にもとづく大気中の炭化水素の実際の測定においては、分析試料の調整、すなわち、低濃度の有害成分の濃縮捕集が測定成果に大きな影響を与えるが、捕集トラップのサイズ、充填剤、濃縮操作などについての至適条件についての検討がほとんどない。

第4節では、比較的捕集の困難な低級炭化水素にたいする従来の dimethyl-sulfolane トラップ（液体窒素冷却）の操作条件について検討した。

- (1) 吸引条件；試料容器の内圧 250 mmHg まで吸引する従来の減圧捕集条件では、容器内に残留する成分量が大きく、少なくとも 160 mmHg まで吸引すべきである。また、成分の捕集量は吸引真空度が高くなるにつれて増加するが、その傾向は成分によって異なり、おおむね沸点の低い成分ほど捕集効率が低い。
- (2) トラップサイズと充填剤粒度；トラップを通過する空気流にたいする充填剤の抵抗が捕集時間に直接影響し、捕集成分を短時間のうちにガスクロマトグラフィーの分離カラムに移送しないと検出成分のピークの変復やテーリングを生じて成分の分離が困難となる。これらの要素にもっとも大きく関係するトラップ充填剤の粒径およびトラップサイズを変化させて捕集効率を測定し、dimethyl-sulfolane トラップの場合には内径 4 mm、長さ 30 cm、充填剤粒度 20~30 メッシュがもっとも有効な条件であることをみとめた。
- (3) 微量成分の捕集法；成分濃度が 0.001~0.01 ppm の場合には、担体充填剤トラップでは捕集に長時間を要するために、ガラスウールトラップを試作して検討した。担体充填剤トラップの場合にくらべて捕集時間が大幅に短縮され、捕集効率はほぼ同程度を示し、実際上きわめて有効な方法であることを示した。ガラスウールトラップによる成分の捕集機構は冷媒による成分の凝縮で、担体充填剤トラップの場合は充填剤による成分の保持能（親和力）と冷却凝縮作用によるが、両トラップによる $C_1 \sim C_6$ 炭化水素の捕集効率に大差がなく、ガラスウールトラップでは大量の被検空気が容易に処理でき、実際上きわめて有用である。

第5節では、大気汚染物としての炭化水素の分析に有利な dimethyl - sulfolene 分離カラムに使用する固定相担体の性状と成分の分離効果について検討し、もっとも有効な担体粒子の性状を明らかにした。

- (1) 粒子の含水率；担体粒子の吸蔵水分は担体の種類によって0.05～2.08%と大巾に異なり、検出ピークのテーリングや分離効果に影響するため、200℃以上の温度であらかじめ除去する必要がある。
- (2) 担体の粒子径；担体が微細化すると気液接触面積と接触時間が増して分離効果が増進されるが、実際には担体粒子のキャリヤーガス流にたいする抵抗が急増するためにカラム内でのキャリヤーガス流の線速度勾配が非常に大となり、カラムの理論段長が大となる。すなわち、カラムの単位長さあたりの分離効率が大巾に低下して、微細化による分離増進効果を上回る。実際に、クロマトグラム上に隣接して現れる二種の成分の分離にたいする担体粒子の粒径（0.05～1.42 mm）の影響を検討した。平均粒径が0.50 mm（粒度、30～40メッシュ）よりも大きい場合の分離は悪く、平均粒径が0.27 mm（50～60メッシュ）より小さくなるにつれて成分の分離がきわめて悪くなり、成分の分離に担体の粒径が顕著な関係をもつことを明らかにした。
- (3) かさ比重、比表面積および空隙率；担体の粒径が小さくなるにつれて、かさ比重・比表面積値は増大し、空隙率は減少する傾向を示すが、同一粒径にたいする値は担体の種類によってやや異なる。かさ比重0.244～0.625、比表面積0.4～60.0 m²/g、空隙率73～88%について成分の分離にたいする影響を検討した。従来から分離に関係するといわれているこれらの要素と成分の分離とは顕著な傾向がない。
- (4) 担体の種類；担体の種類による分離の相違については柱設構造ならびに不純物が影響すると考えられ、本研究で検討した6種（fire-brick C-22, celite 408, celite 545, isolite N-2, isolite N-4, chromosorb P）のなかでは fire-brick C-22 がもっとも高い分離効果を示した。しかし、担体構造などによる成分の分離機構（吸脱着能）についてはさらに検討を要する。

以上の検討にもとづいて、大気中の低級炭化水素の測定には、dimethyl - sulfolene トラップ、またはガラスウールトラップを用いて成分を濃縮捕集し、分離カラムの担体には fire-brick C-22（30～60メッシュ）を使用することが実際上有効であることを明らかとした。

第三章： 第1節では、自動車排気による大気汚染が世界で最初に注目され、しかも激しい障害を頻発した米国における研究の概略を述べた。すなわち、自動車の運転条件による排気成分の濃度と排出量、燃料組成の影響、蒸発損失、クラックケース排出、ジーゼル排気などについて多くの研究がなされ、排気中のCOを人体に有害な成分、n-hexaneをスモッグ成分の指標とする排気の評価法が定められた。米国では、気筒容積（約3500～6000 cc、6または8気筒）の大きい自動車が多く、わが国では1000～1500 cc（4気筒）以下の中小型車が多く、このような中小型車についての資料がほとんどない。

第2節では、わが国の自動車の街路走行における排気成分を検討した。すなわち、国産乗用車（プリンススカイライン 1500 cc、1961年型2台、1964年型1台、1967年型1台）を用い、運転条件を系統的に制御して排気中の炭化水素、およびCOの濃度と排出量、ならびにエンジン要素の変化を測定した。1961年型の中古車についての結果はつぎのとおりである。

- (1) 気液率；アイドル8、定速10～17、加速8～13で、減速時は燃料の供給が閉じられるために16～60と非常に高い。
- (2) 排気濃度
 - (a) アイドル時（エンジンの回転数600～4000 rpm）では、COおよび炭化水素濃度がエンジンの回転数の上昇につれて低下し、都市走行の一時停止に相当するアイドル600 rpmでのCO濃度は6.5%、炭化水素濃度は約5100 ppmと非常に高い。
 - (b) 定速時（10～80 Km/h）の炭化水素およびCO濃度はトランスミッションの位置を第一速から第二、第三、第四速へシフトするにつれて減少し、同じトランスミッションの位置では車速およびエンジンの回転数が増大するにつれて減少する。都市走行での定速条件（第四速；30～60 Km/h、エンジンの回転数；1100～3100 rpm）

では、CO 3.1～4.6%，炭化水素約900～2,100 ppmを示す。

- (c) 加速時（0～5 Km/h から 10～60 Km/h への加速）では、トランスミッションの位置および加速条件で排気濃度（CO 2.9～8.0%，炭化水素約1,800～5,200 ppm）が大きく異なり、都市走行で多く現われる発進加速時の濃度（CO；3.6～5.9%，炭化水素；約2,700～5,200 ppm）が高い。
- (d) 減速時（20～60 Km/h から 0～40 Km/h への減速）は CO 濃度（6.2～7.9%）に大差がない。炭化水素濃度（約2,800～8,200 ppm）はトランスミッションの位置および減速条件で大巾に異なり、実際の都市走行で多く現われる低速度からの減速時の濃度（CO；6.3～7.5%，炭化水素；約3,600～8,200 ppm）が高い。
- (3) 炭化水素の各成分；各運転条件とも methane, n-butane, ethylene, acetylene の燃料解裂成分が10～20%と大きい割合を占める。
- (4) 炭化水素構成；排気炭化水素濃度の平均構成比は、
- (a) アイドル時がパラフィン63%，オレフィン28%，アセチレン9%を示す。
- (b) 定速時はパラフィン74%，オレフィン14%，アセチレン11%で、パラフィンの割合が大きい。
- (c) 加速時はパラフィン64%，オレフィン23%，アセチレン13%である。
- (d) 減速時はパラフィン60%，オレフィン26%，アセチレン14%を示し、減速時とアイドル時のオレフィンの占める割合がやや大きい。
- (5) 供給燃料にたいする未燃焼成分の排出比（重量）；アイドル時は気液率が低いために13%と大きく、定速時は1～4%を示す。加速時はエンジンの加速性保持のために燃料供給量が増大し、未燃成分の排出重量比も2～7%と定速時よりやや大きく、減速時は空気の供給が閉じられて燃焼効率が大幅に低下するために10～40%に増大する。
- (6) 排気成分の排出重量；排気中の CO および炭化水素濃度はエンジンの回転数の上昇につれて減少するが、単位時間内の排出重量はエンジンの回転数、すなわち、排出ガス量にもっとも大きく影響され、炭化水素の排出重量は炭化水素構成にも関係するから、CO とはやや異なった傾向を示す。
- (a) アイドル時では、都市走行の一時停止状態（600 rpm）における排出重量が CO 1,760 g/h，炭化水素 206 g/h を示した。
- (b) 定速時では、都市走行の定速条件（第四速，30～60 Km/h）での排出重量が、CO 1,600～2,010 g/h，炭化水素104～126 g/h を示す。
- (c) 加速時では、都市走行に多い発進加速条件（10～40 Km/h への加速）における排出重量が CO 1,930～2,360 g/h，炭化水素247～363 g/h を示す。
- (d) 減速時では、都市走行に多く現われる走行停止に至る減速条件（10～40 Km/h からの減速）での排出重量が CO 240～676 g/h，炭化水素31～58 g/h を示した。
- さらに、実際の都市で走行している自動車では、エンジンの消耗の程度が一樣でないことから、同系統の車種で走行距離の異なる4台（新車～約17万 Km 車）を用いて、エンジンの疲労度による排気成分への影響を検討した。
- (1) エンジンの出力；自動車の既走行距離が増すにつれて、エンジン各部の疲労消耗からバルブタイミングの不良化による吸排気系の不調、排気の引きもどし、エンジンオイルの吸引などの原因から供給燃料の燃焼効率の低下が生じる。実験車について測定した結果、新車（150 Km 走行）と約1万9千 Km 車のエンジンの出力はほぼ定格値であるが、約6万7千 Km 車では定格値より約11%低下し、実用的にはエンジンのオーバーホールが必要と考えられる。約17万 Km 車の低下率は約29%と大きい。
- (2) 排気濃度；アイドル時（600 rpm）での測定では、新車は CO 3.6%，炭化水素約1,760 ppmを示す。これにたいして、走行距離の増大につれて、CO および炭化水素の濃度は大巾に増大し、その傾向はほぼ同様である。CO および炭化水素濃度の増加率は約1万9千 Km 車で17～24%，約6万7千 Km 車で約47%を示し、約17万 Km 車では新車の2～3倍に達する。

(3) 炭化水素構成；既走行距離数が増すにつれて排気中にC₄～C₅オレフィンの占める割合が増す。

(4) 排気成分の排出量；既走行距離の増大につれてCOおよび炭化水素の排出重量も大巾に増大し、その増加率は濃度の場合と大差がない。

第3節では、第2節の測定がアイドル時のみであることから、アイドル、加速、定速、減速の各条件から構成されているテストサイクルを用い、走行状態の全体について検討した。すなわち、米国およびわが国で、自動車排気の試験法に採用されたシャーシーダイナモテストにより排気成分の測定を行なった。

(1) 7モードサイクル（米国）による新車の値はCO 3.05%，n-hexane 591 ppmで、米国の排出基準値（気筒容積781～1,562 cc；CO 2.3%，n-hexane 410 ppm）を越える。4モードサイクル（日本）では、COが2.35%で、わが国の規制値（3.0%）よりも低い。

(2) 実験車の走行距離数と排気濃度の関係をシャーシーダイナモテスト法で検討し、その結果が前節の都市街路での測定（アイドル時）とほぼ同様の傾向を示すことをみとめた。

以上、本章では、自動車の実際の都市走行における排気中のCOおよび炭化水素の排出濃度、量、ならびに炭化水素構成が運転条件によって大きく異なる。アイドル時の炭化水素とCOの濃度および排出量はともにかなり高い。定速時は炭化水素の濃度がもっとも低く、排出量はアイドルの半ばに減少する。アイドル時にくらべて定速時のCO濃度はやや低い、排出量はかなり大きい。加速時の炭化水素とCO濃度は広い範囲を示し、最高値はアイドル時より高く、最低値は定速時と大差がない。炭化水素とCOの排出量はもっとも大きい値を示す。減速時の炭化水素とCO濃度はもっとも大きい、排出量はアイドル時の約 $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{4}$ ともっとも低いことを明らかにした。さらに、自動車のエンジンの疲労度がCOおよび炭化水素の排出に大きく影響することを明らかにし、中古車排気にたいする対策が都市の大気汚染軽減に肝要であることを強調した。

第四章； 第1節では、自動車排気成分に起因するロスアンゼルススモッグの軽減、防止のためにカリフォルニアで自動車排気にたいする排出規制が実施され、1966年からは全米にも適用されるに至った経過、ならびにわが国やヨーロッパにおける情勢について概略を述べた。ついで、主として米国における排気処理装置の開発状況および代表的な装置の性能と問題点を述べた。米国では処理装置にたいするテスト基準により認可を与えられ、実用車に採用されている装置も少なくないが、それぞれ性能およびその持続性、製造および維持費、エンジンの改造、エンジンの性能にたいする影響などに問題点が指摘され、現在のところ実用上決定的な防止装置が開発されるには至っていない。一方、最近のわが国では、アイドル調整法、二次空気注入法、および点火改良装置が中古車にも簡単に応用できる有利な防止法として提唱されている。しかし、これらの効果ならびに問題点についての十分な検討がない。

第2節で検討した点火改良装置は火花点火時の放電特性を改良するもので、放電初期の短時間に強力な火花エネルギーを与えて冷焰反応期を短縮し、火焰伝播速度を増進させる。それゆえ、シリンダー内の混合気の燃焼速度ならびに燃焼効率が向上し、より少ない燃料量で所要の出力が確保され、排気中に排出される未利用燃料成分が大巾に減少すると考えられる。実験車（プリンススカイライン、1,500 cc、1961年型）にこの装置をつけ、第三章と同様の運転条件で都市街路での走行実験を行ない、排気成分ならびにエンジン要素の変化を測定した。

(1) 燃料消費率；この装置による燃料消費の節減率は加速時が13%で、アイドル、定速、減速時は19～20%を示し、定速時の燃料あたりの走行距離数は30%増大する。

(2) 気液率；減速を除く各運転条件の気液率は燃料消費量が節減されるために8～15と理論比側に近づく。

(3) 排気濃度の減少率；CO濃度の減少率はアイドル、定速、および減速時が35～48%を示し、加速時は17%とやや低い。炭化水素濃度の減少率はアイドルと定速時が51～52%とほぼ半減し、加速および減速時が16～18%を示す。排気中の炭化水素にはCOよりも反応性が大きい燃料の解裂成分が多いために炭化水素濃度の減少率が大きく、減速時は燃焼空気が極端に不足した状態であるために濃度減少率が低い値を示したと考えられる。

(4) 排気成分の排出量；CO排出量の減少率はアイドルおよび減速時が45～49%と大きく、定速時は28%で、加速時（16%）がもっとも小さい。炭化水素排出量の減少率は、アイドルおよび定速時が40～44%、減速時が22

%で、加速時（17%）がもっとも小さい。

(5) 加速性能；加速所要時間が20%短縮される。

(6) 走行距離数による点火改良装置の効果；エンジンの疲労度と点火改良装置の効果を街路走行（アイドル）およびジャーシーダイナモテストによって検討した。

(a) アイドル時の燃料消費；新車と約2万Km走行車の燃料節減率は8%で、約7～17万Km走行車での減少率は14%を示す。

(b) アイドル時の排気成分；COおよび炭化水素の排出濃度と量の減少率は新車および約2万Km走行車で16～25%を示し、約7～17万Km走行車での減少率は36～55%とほぼ半減した。

(c) ジャーシーダイナモテスト；米国のテスト法（7モードサイクル）による測定で新車の排気濃度はCO 1.8～2.3%，n-hexane 360～468 ppmに低下し、米国の排出基準値以下に制御しうることをみとめた。また、走行距離数による燃料の節減、排気濃度の減少効果は街路走行（アイドル時）とほぼ同様である。

第3節では、点火改良装置の内部材質を変えた場合の点火性能の変化を検討した。この装置の場合にも、電極の疲労損耗により、点火性能が劣化して排気濃度の上昇やエンジントラブルなどを起すが、検討の結果、カーボン電極の代りに金属電極（ステンレス）を使用しても点火効果にはほとんど影響しないことを示し、この装置の耐久性向上にたいする示唆を与えた。

第4節では、最近のわが国で行政的見地から提唱されているアイドル調整法について検討した。これはアイドル時の吸入燃料量を減らして希薄混合気とし、未反応成分を減少する方法である。しかし、調整の度合によっては希薄すぎる混合気となり燃焼しないサイクルが現われるために始動困難、エンスト、加速力不足、燃焼不良が生じる。そこで、燃料節減の程度と効果、ならびに実際の走行性能にたいする影響を知るために検討した。実験車（プリンススカイライン、1500cc、1961年型、1964年型）を使用して、気化器のアイドルアジャストメントスクリューの開度と排気成分の濃度および加速性能にたいする影響を検討した。アイドルアジャストメントスクリューの開度を1080°から180°まで変化させて燃料の吸入量を4ℓ/hから1.5ℓ/hに減少させると、アイドル時の排気のCO濃度は10%から2%に減少し、完全燃焼成分のCO₂濃度は6%から12%に増大し、アイドル調整法による排気制御効果は顕著である。実験車のアイドルアジャストメントスクリューの開度による発進加速性能を測定した結果、最適開度は720°を示し、最適開度より小さくても、また大きくても加速性が大巾に低下すること、および最適開度はエンジンの疲労度とともに増大することを明らかとした。これらのことから、排気のCO濃度が3%以下になるように燃料の吸入量のみを減少させる一般のアイドル調整法は、エンジンの出力変動の激しい実際の都市走行において、出力不足、エンストなどを起す危険性が大きい。また、アイドル調整法の基本はエンジンの疲労などで狂ったアイドルアジャストメントスクリューの開度を出力性能を考慮した最適点に調整することにあり、エンジン回転数およびマニホールドバキウムを指定値に調整する通常のエンジン整備基準の徹底にほかならない。

第6節では、吸入燃料にたいする過剰の空気を気化器以外からエンジンに注入して完全燃焼させる二次空気注入装置について検討した。これはアイドル時や減速時の高いマニホールドバキウム（40cmHg以上）で作動するスプリング制御のボール弁により空気を注入する装置で、アイドル時の燃料吸入量が24～30%節減され、吸入気の気液率が10～12と大きく理論比例に移行し、排気中のCO濃度の減少率は73%と著しく大である。しかし、この装置のスプリング制御機構の作動はエンジンのマニホールドバキウム変動にたいする即応性が低く、発進加速時間では5%の作動遅れを示した。このため、出力変動の多い都市走行や登坂時には出力不足、エンジンのジャーゼリングなどを生じ、実用上の価値は低い。

第7節では、本章で採りあげたアイドル調整法、二次空気注入装置および点火改良装置の効果を比較検討し、点火改良装置をつけてアイドルアジャストメントスクリューを加速性からみた最適開度に調整した場合に、燃料節減、排気成分の排出減少、ならびに加速性確保の点でもっともすぐれた結果を示すことを明らかとした。

以上、本章では中古車にも簡単に利用できる防止法のなかで点火改良装置がもっとも有利であることを明らかにするとともにアイドル調整法および二次空気注入装置を使用する場合に考慮すべき点を明らかにした。

第五章：都市域における自動車の排気成分の総排出量を把握することは、大気汚染にたいする排気の貢献度の評価、汚染の将来予測、排出基準と防止策、さらには都市計画的対策の推進に不可欠である。このために自動車走行の実態把握と都市走行を代表する走行様式を合理的に選定する必要があり、本章では、都市域における走行実験の解析から理論的に平均走行サイクルを導く方法について検討した。

第2節では、米国での都市走行の代表的走行サイクルの選定経過を述べた。すなわち、カリフォルニアで自動車排気の排出基準が設定された際に、この地域における自動車の平均的走行様式として11個の運転条件が示され、この11条件から構成された11モードサイクル（のちに7モードサイクルに改編）が導かれた。また、7モードサイクルは米国都市での代表的走行パターンとして全米の排出規制にもそのまま採用され、排気ならびに防止装置の性能検定のためのテストサイクルとされた。ついで、これらのテストサイクルの各速度条件に規定された排気濃度算定のための評価係数（加重係数）の概念を述べ、わが国の4モードサイクルおよびヨーロッパで提唱されている走行パターンについても述べた。

第3節、第4節では、京都市の中心部で各交差点の交通流特性から統計的に実験路線を決定した経過、ならびに京都市外周部と大阪市中心部での実験路線について述べた。

第5節では、都市域における自動車の走行状態にみられる規則性から、単純マルコフ連鎖理論を適用することにより平均的な走行パターンのモード数を合理的に導く方法について検討した。実際の街路で自動車はさまざまな運転条件を連続して走行しているが、運転条件（モード）をアイドル、加速、定速、減速に区分するとつぎのような規則性が存在する。アイドルのつぎには必ず加速のみが起こり、加速のつぎには定速または減速だけが起る。定速のつぎには加速または減速だけが起る、減速のつぎには加速、定速、アイドルが起る。ある条件は直前のモードにのみ関係して現われ、それ以前、あるいはつぎに現われるモードには全く関係がないとすると、これらのモードの組合わせで形成される一連の現象で、 E_i のつぎにモード E_j が現われる確率 P_{ij} が与えられるときには単純マルコフ連鎖理論が適用でき、もっとも期待される現象が推定できる。すなわちモードの推移確率行列からモード E_j の再帰時間確率 f_{jj} 、およびもっとも期待されるモード数である平均再帰時間 μ_j が与えられる。したがって、実際の走行実験による走行モードの遷移確率 P_{ij} から、走行サイクルのモード数を合理的に求め、実測の速度条件を適用することによってもっとも妥当な平均的走行パターンがえられる。

第6節、第7節および第8節では、京都市の中心部と外周部、および大阪市中心部についての走行実験の成績、ならびにそれぞれについて導かれたもっとも平均的な走行パターンについて述べた。

- (1) 京都中心部；実測では平均車速 21 Km/h ，走行モードの時間比はアイドル30%，加速26%，定速27%，減速17%で、停止から 40 Km/h への加速、 40 Km/h 定速、 40 Km/h から停止への減速の条件がもっとも多く現われた。平均再帰時間にもとづく走行サイクルのモード数は5または6を示し、実測での速度条件の出現頻度および消費時間比を考慮して合成6モードサイクル（時間；81.1秒，アイドル22%，加速36%，定速22%，減速20%）がこの地域での代表的な走行サイクルとして導かれた。
- (2) 京都市外周部；実測による平均車速は 25 Km/h で、走行モードの時間比はアイドル25%，加速29%，定速27%，減速20%で、中心部よりもアイドルがやや小さく、加速がやや大きい。出現頻度が最大を示す速度条件は中心部と同様であるが、 30 Km/h から 40 Km/h への加速、 40 Km/h から 30 Km/h への減速、 30 Km/h 定速条件の割合が増す。もっとも期待されるモード数は7で、合成7モードサイクル（時間；92.5秒，アイドル21%，加速28%，定速30%，減速21%）が代表的走行サイクルとして導かれた。
- (3) 大阪中心部；実測による平均車速が 17 Km/h で、走行モードの時間比はアイドル40%，加速22%，定速18%，減速20%で、京都中心部に比べてアイドルが著しく大きく、定速の割合が小さい。京都中心部とは異なって低速度条件（ 20 Km/h ）の出現頻度が大きい。もっとも期待されるモード数は6で、合成6モードサイクル（時間；96.8秒，アイドル33%，加速30%，定速13%，減速24%）が代表的走行サイクルとして導かれた。

第9節では、本章で走行実験を行なった京都中心部と外周部、および大阪中心部における走行モードの時間比、各速度

条件についての出現頻度と時間合計の成績，ならびにそれぞれの地域について導かれた合成走行サイクルのパターンを総合し，京都，大阪の都市域における自動車走行を代表する走行サイクルについて比較検討した。その結果，京都，大阪における自動車排気規制のテストサイクルとしては，京都中心部について導かれた合成6モードサイクルの適用がもっとも有利であることを明らかにした。しかし，自動車の走行様式は都市構造，道路事情，交通状態，運転者習性，車種などで影響されるから，わが国の都市走行の全てを代表する走行サイクルの選定は交通事情の異なる他都市についての今後の検討と，本研究で述べた誘導法により容易にえられる。

第10節では，国産乗用車（プリンススカイライン1,500cc，1967年型，新車）を使用し，本研究で導いた合成走行サイクルならびに従来のテストサイクル（米国7モード，わが国4モード）を用い，シャーシーダイナモテストにより排気濃度を測定比較した。合成6モードおよび合成7モードサイクルによる排気濃度はCO 2.76～2.95%，n-hexane 604～612 ppmで，米国の7モードサイクルによる値（CO 3.05%，n-hexane 591 ppm）と大差がなく，わが国の4モードサイクル（CO 2.35%，n-hexane 411 ppm）より大きい。

第11節では，自動車の走行パターンは交通密度に影響され，排気成分の排出量は速度条件で異なるから，都市全域での排出総量を単一の走行サイクルによって求めるのは適当でない。本節では，交通密度で都市域を地区に分け，各地区についてのもっとも代表的な走行サイクルを選定して排出総量を求める方法を述べ，第三章および本章のこれまでの成績を適用して京都市街全域におけるCOと炭化水素の排出総量を算定した。すなわち，中心部（合成6モード）と外周部（合成7モード）に分け，合成走行サイクルを構成する各速度条件のCOと炭化水素の排出量には第三章での測定成績を適用した。ここで，市全域におけるガソリン自動車数を25～30万台/日とし，わが国の自動車の気筒容積分布（1,000～1,500cc車；49.5%）から，本研究に使用した1,500cc車でガソリン車を代表すると，市全域における排出量は中心部と外周部の交通密度比で若干異なるが，おおむねCO 186～191トン/日，炭化水素27～28トン/日と推測された。

以上，本章では，自動車の都市走行を代表する合理的な走行サイクルの誘導法を明らかとし，排気規制のテストサイクルとして京都，大阪の都市域における自動車走行を代表する合成6モードサイクルを示した。ついで，自動車の交通密度による走行パターンの相違を考慮して都市全域における排気成分の排出総量の算定法を提示した。

第六章：わが国では，自動車交通の激化から排気成分（炭化水素，CO）による大気汚染が深刻化しているが，実状についての資料が少ない。本論文の第三章，第四章，第五章では汚染源である自動車の排出状況の把握とその防止方法，ならびに都市域における排出量の評価の点について検討を加えた。しかし，排気成分による大気汚染の都市計画的対策ならびに健康目標の設定にあたっては，都市における汚染の実態把握，ならびに汚染傾向の予知が必要である。本章では，自動車排気成分（COおよび炭化水素）による汚染の実態について検討した。炭化水素成分の測定には，第二章で検討した濃縮捕集法を用いた。

第1節では，米国およびわが国におけるこれまでの自動車排気による大気汚染調査の概略を述べた。

第2節では，比較的交通量の大きい大阪市の中心部（曾根崎警察署前）と府下の4地点（府立成人病センター前，堺市役所前，守口市大日交差点，阪奈有料道路大東ゲート）で，午前9時から午後5時（30分毎）に測定した結果を述べた。

(1) 交通量：(a) 曾根崎警察署前では7,760～11,570台/時（平均10,600台/時），(b) 成人病センター前では2,900～4,500台/時（平均3,900台/時），(c) 堺市役所前では3,600～5,100台/時（平均4,500台/時），(d) 大日交差点では7,100～9,700台/時（平均8,600台/時），(e) 阪奈道路では600～1,000台/時（平均784台/時）を示す。曾根崎警察署前と成人病センター前での炭化水素およびCO濃度の経時変化は交通量変動によく対応を示したが，他の地点では顕著な傾向がみとめられなかった。

(2) 地上風速：(a) 曾根崎警察署前では0.4～3.0 m/sec（平均1.3 m/sec），(b) 成人病センター前では0.0～0.9 m/sec（平均0.4 m/sec），(c) 堺市役所前では0.7～3.4 m/sec（平均1.3 m/sec），(d) 大日交差点では0.6～2.5 m/sec（平均1.2 m/sec），(e) 阪奈道路では0.0～3.5 m/sec（平均0.8 m/sec）を示す。堺市役所前，大日交差点および阪奈道路では地上風の影響により，炭化水素とCO濃度は交通量の経時変化と

は必ずしも対応しない。

- (3) 地点別の炭化水素（10分間平均値）とCO濃度（瞬時）；(a)曾根崎警察署前では炭化水素1.7～2.5 ppm，CO 4～39 ppm，(b)成人病センター前では炭化水素1.4～3.9 ppm，CO 30～85 ppm，(c)堺市役所前では炭化水素0.6～2.1 ppm，CO 8～25 ppm，(d)大日交差点では炭化水素1.2～1.8 ppm，CO 22～42 ppm，(e)阪奈道路では炭化水素1.4～2.5 ppm，CO 22～135 ppmを示した。
- (4) 大阪府下での炭化水素（y ppm）と交通量（x 台/時）の回帰式；(a)成人病センター前では， $y = 0.63 \times 10^{-3} x$ ，(b)堺市役所前では， $y = 0.29 \times 10^{-3} x$ ，(c)大日交差点では $y = 0.16 \times 10^{-3} x$ を示し，平均風速の増大につれて回帰式の勾配が減少し，地表付近の排気成分による大気汚染が地上風により大きく影響されることを示した。
- (5) 阪奈道路では，CO濃度が料金収納員にたいする影響を無視できないレベルにあることを明らかにした。
- (6) 大日交差点（中央）で地上7mの高さにおける測定により，走行自動車による気流の攪乱効果のために路面近くの垂直方向の炭化水素濃度に顕著な差がないことをみとめた。

第3節では，自動車トンネル排気による大気汚染の実態について検討した。近年のわが国では，各所で長大な自動車トンネルが建設され，トンネル排気の炭化水素成分などによる作業員，植物，ゴム製品にたいする影響，ドライバーの眼の刺激と視程の減少などが訴えられている。名神高速道路天王山トンネル（上り線）と，その出口付近における汚染の実態を測定した。測定時にはトンネル強制換気装置が停止した状態で，本測定の成果から交通状況の変化による汚染の傾向を推測した。

- (1) 交通状況；調査時のトンネル交通量は約310台/時で，計画最大交通量（片側，20,000台/時）のほぼ1/4程度を示した。
- (2) トンネル内の濃度；トンネル内の炭化水素濃度は約1,060 ppmで，その平均組成はパラフィン75%，オレフィン23%，芳香族2%で，第三章で述べたガソリン自動車排気の場合とはほぼ同様である。また，トンネル内のCO濃度は平均50 ppmを示した。
- (3) トンネル外の濃度；寒期には，トンネル出口付近で地表近く（約30m）に弱い気温の逆転が生じ，トンネル排気の停滞蓄積がおり，出口から約100m地点までその影響を示す。暖期には，出口から約40m地点までにトンネル排気流は上方に拡散希釈される傾向を示し，地上（1.5m）での炭化水素濃度はトンネル出口から約40m地点でトンネル内の約1/14に，約100m地点で約1/370に低下する。また，路線から水平に約50m離れた地点では約1/500に減少する。以上の成績からトンネル排気流が地表のかなり広い範囲にまで拡がって停滞することを明らかにした。
- (4) トンネル内濃度の推定；(a)回帰式による推定，本測定での成績から計画最大交通量時のトンネル内の炭化水素とCO濃度を推定した。まず，測定時の通過交通量とトンネル内濃度の経時変化から導かれた回帰式はつぎのとおりである。炭化水素については， $y \text{ (ppm)} = 1.19 X \text{ (台/時)} + 623.4$ ，COについては， $y \text{ (ppm)} = 0.105 X \text{ (台/時)} + 20.2$ を示した。これから，トンネルの強制換気が停止している場合には，計画最大交通量時で交通量のもっとも大きい時間帯（午前10時から午後4時，1,750台/時）に，トンネル内の濃度は炭化水素2,700 ppm，CO 200 ppmに達すると推測された。この場合には，トンネルを通過する自動車による自然換気量の増加が排気濃度の増加と正比例するとみなしたことになる。(b)換気装置の送風量を考慮した推定；実測時の交通量変化によるトンネル内の平均風速変動の関係式，ならびに強制換気装置の制御段階と送風量変化の関係式，自動車の平均汚染物排出量，トンネルの長さや断面積にもとづいて，トンネル内の炭化水素とCO濃度の推定式を導いた。すなわち，

$$\text{炭化水素については } X \text{ (ppm)} = \frac{657N}{0.329N + 16.6G + 79.9}$$

$$\text{CO については } X \text{ (ppm)} = \frac{30.9N}{0.329N + 16.6G + 79.9}$$

が導かれた。ここで，Nは交通量，台/時，Gは換気装置の送風制御段階（0～8）である。上記のと同様の条件である計画最大交通量時で，強制換気の停止時（G=0）において，この推定式によるトンネル内の濃度は炭化水素が1,800

ppm, CO が 80 ppm となる。

第4節では、わが国の自動車生産と保有台数の伸び率、自動車工業の特色、乗用車の需要傾向、道路事情の変化などについて考察し、わが国の都市の大気汚染にたいする自動車排気の貢献度が今後増加の一途をたどると指摘し、排気成分による大気汚染にたいする基礎研究、ならびにわが国の交通実状にもとづく有効な軽減対策の強力な推進が急務であることを強調した。

以上、本章では、交通量の大きい都市の交差点付近において、自動車排気にもとづく炭化水素とCOによる汚染の概略を知るために実態測定を行ない、排気成分の濃度が通過交通量ならびに地上風速に大きく影響され、地上7m付近までの濃度に大差がないをとを明らかにした。ついで、高速道路トンネルの内外における測定により、トンネルの出口より100m付近までの地表にトンネル排気が拡がることを明らかにするとともに、通過交通量ならびに強制換気量が変化した場合のトンネル内の炭化水素とCO濃度の変化を推測した。さらに、わが国の自動車保有の増加傾向が著しく、都市における自動車排気による大気汚染対策の強力な推進が必要であることを述べた。

本論文では、わが国の都市公害として注目されているなかで、近年深刻の度を加えている自動車排気による都市大気汚染の実態把握と、その軽減防止を究極の目標とし、そのための基本的な諸問題について衛生工学的見地から検討を加えた。

- (1) 大気中の排気成分を測定するための実際的な分析試料調整法、ならびに測定条件を見出した。
- (2) ガソリン自動車の街路走行における各運転条件についてCOおよび炭化水素の排出状況を系統的に明らかにした。
- (3) 排気ガス防止装置あるいは防止法の効果と問題点を検討し、点火改良装置が中古車にも簡単に利用できる有利な方法であることを示した。
- (4) 都市における自動車の走行状態を解析し、都市走行を代表するパターンを合理的に導く方法を明らかとした。
- (5) 都市域における自動車排気の大気汚染にたいする貢献度を評価するために自動車からの総排出量の算定方法を導いた。
- (6) 比較的交通量の大きい都市交差点付近における汚染の概況、ならびに高速道路トンネル内外における汚染の実状を調査し、自動車排気成分による大気汚染にもとづく諸種の障害の発生を軽減することができないことを明らかとした。

本論文で究明の対象とした問題は、いずれも自動車排気による大気汚染問題の根本的解決のために詳細な解明が必須とされている基礎的因子であるが、本論文においては完全に解明しえなかった問題点、たとえば、燃料の燃焼機構と排気成分の関係や低層大気中の排気成分の挙動などについては今後の追求が必要である。

謝

辞

拙筆にあたり、本研究の推進と論文集成に終始、真摯な御指導と御薫陶を賜った京都大学工学部衛生工学教室 教授 庄司光彦医学博士、研究展開について有益な御示唆を頂いた京都大学工学部衛生工学教室 教授 山本剛夫医学博士をはじめとして、御鞭撻を頂いた衛生工学教室の方々に衷心より謝意を表する次第である。また、とくに本研究における諸般の測定に厚意ある協力を頂いた高田進、八木康雄、石川義紀、小松正幹、伝田剛、本多常夫の諸氏の名を記して謝意に換える。